



8TH INTERNATIONAL ANATOLIAN AGRICULTURE FOOD, ENVIRONMENT AND BIOLOGY CONGRESS

11-12 Haziran 2026

Sinop - TÜRKİYE

www.targid.net



PROCEEDINGS BOOK

978-625-97746-8-8

Turkish Science and Technology Publishing (TURSTEP)

Volume **1**



PREFACE

Dear Colleagues...

The " 8th International Anatolian Agriculture, Food, Environment and Biology Congress (TARGID 2026) " has been held in Sinop/Türkiye on 11-12 June 2026, with the participation of scientists working in agriculture and related sciences, with the aim of sharing scientific developments, proposing scientific solutions to international problems, increasing cooperation and creating scientific outputs that will benefit humanity by using international resources economically.

A total of 296 papers from 37 countries were presented to our congress. Of these papers, 158 came from foreign countries and 138 came from Türkiye. The countries of the participants who submitted papers to the congress and the number of incoming papers are as follows: Algeria (5), Azerbaijan (5), Bangladesh (15), Benin (4), Bosnia and Herzegovina (1), Bulgaria (1), Chad (1), China (4), Côte d'Ivoire (1), Ethiopia (3), Ghana (4), Hungary (3), India (0), Iraq (1), Iran (11), Italy (5), Kazakhstan (5), Kenya (1), Malaysia (4), Moldova (1), Morocco (1), Nepal (5), Niger (3), Nigeria (25), Pakistan (18), Philippines (1), Poland (4), Somalia (2), Spain (1), Sri Lanka (7), Sudan (4), Tanzania (1), Tunisia (5), Uganda (2), Ukraine (1), United States (2), Zimbabwe (1), and Türkiye (138). The rate of international papers was 53.4%, while papers from Türkiye accounted for 46.6% of the total.

At the congress; participants discussed such topics as animal production, crop production, aquaculture, food science and technologies, agricultural technologies, soil science, sustainable agricultural systems, agricultural economics, genetics, biology, agricultural ecology, landscape architecture and agricultural environment issues related to original, advanced technology on agriculture and natural life.

During the organization and congress phases of TARGID 2026, Assoc. Prof. Dr. Burak Şen, Prof. Dr. Cem Baltacıoğlu, Assoc. Prof. Dr. Hande Baltacıoğlu, Assist. Prof. Dr. Mustafa Duman, Assist. Prof. Dr. Mutlu Bulut, Assist. Prof. Dr. Ali Kaan Yetik, Assist. Prof. Dr. Mehmet Yetişen, Ahmet Akyol, Furkan Baş, Muhammet Talha İnce, and Ulrich Sosthène Hodonou took on important responsibilities in the congress secretariat.

We would like to express our gratitude to all our stakeholders who supported the successful realization of our congress and all the scientists who participated and supported us with their papers.

Kind regards





ÖNSÖZ

Değerli Meslektaşlarımız,

Tarım ve ilgili bilim alanlarında çalışan bilim insanlarının katılımıyla gerçekleştirilen “8. Uluslararası Anadolu Tarım, Gıda, Çevre ve Biyoloji Kongresi (TARGID 2026)”, bilimsel gelişmelerin paylaşılması, uluslararası sorunlara bilimsel çözümler sunulması, iş birliğinin artırılması ve uluslararası kaynakların ekonomik ve etkin bir şekilde kullanılması yoluyla insanlığa fayda sağlayacak bilimsel çıktılar oluşturulması amacıyla 11–12 Haziran 2026 tarihlerinde Sinop/Türkiye’de gerçekleştirilmiştir.

Kongremize 37 ülkeden toplam 296 bildiri sunulmuştur. Bu bildirilerin 158’i yabancı ülkelerden, 138’i ise Türkiye’den gelmiştir. Kongremize bildiri gönderen katılımcıların ülkeleri ve gönderilen bildiri sayıları şu şekildedir: Cezayir (5), Azerbaycan (5), Bangladeş (15), Benin (4), Bosna-Hersek (1), Bulgaristan (1), Çad (1), Çin (4), Fildişi Sahili (1), Etiyopya (3), Gana (4), Macaristan (3), Hindistan (0), Irak (1), İran (11), İtalya (5), Kazakistan (5), Kenya (1), Malezya (4), Moldova (1), Fas (1), Nepal (5), Nijer (3), Nijerya (25), Pakistan (18), Filipinler (1), Polonya (4), Somali (2), İspanya (1), Sri Lanka (7), Sudan (4), Tanzanya (1), Tunus (5), Uganda (2), Ukrayna (1), Amerika Birleşik Devletleri (2), Zimbabve (1) ve Türkiye (138). Uluslararası bildirilerin toplam bildiriler içerisindeki oranı %53,4, Türkiye’den sunulan bildirilerin oranı ise %46,6 olarak gerçekleşmiştir.

Kongrede; hayvansal üretim, bitkisel üretim, su ürünleri yetiştiriciliği, gıda bilimi ve teknolojileri, tarımsal teknolojiler, toprak bilimi, sürdürülebilir tarım sistemleri, tarım ekonomisi, genetik, biyoloji, tarımsal ekoloji, peyzaj mimarlığı ve tarımsal çevre konularının yanı sıra tarım ve doğal yaşamla ilişkili özgün ve ileri teknoloji uygulamaları ele alınmış ve tartışılmıştır.

TARGID 2026’nın organizasyon ve kongre süreçlerinde; Doç. Dr. Burak Şen, Prof. Dr. Cem Baltacıoğlu, Doç. Dr. Hande Baltacıoğlu, Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Duman, Dr. Öğr. Üyesi Mutlu Bulut, Dr. Öğr. Üyesi Ali Kaan Yetik, Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Yetişen, Ahmet Akyol, Furkan Baş, Muhammet Talha İnce ve Ulrich Sosthène Hodonou kongre sekreteryasında önemli görevler üstlenmişlerdir.

Kongremizin başarıyla gerçekleştirilmesine katkı sağlayan tüm paydaşlarımıza ve bilimsel çalışmalarıyla kongremize katılım göstererek bizleri destekleyen tüm bilim insanlarına teşekkürlerimizi sunarız.

Saygılarımızla





COMMITTEES

HONOURARY COMMITTEE

Prof. Dr. Şakir TAŞDEMİR Rector of Sinop University, Türkiye

Prof. Dr. Hasan USLU Rector of Niğde Ömer Halisdemir University, Türkiye

OWNER of the CONGRESS

Prof. Dr. Şakir TAŞDEMİR Rector of Sinop University, Türkiye

CONGRESS CHAIRS

Prof. Dr. Levent BAT Sinop University, Türkiye

Prof. Dr. Ahmet ŞEKEROĞLU Niğde Ömer Halisdemir University, Türkiye

Prof. Dr. Hasan ELEROĞLU Sivas Cumhuriyet University, Türkiye

Prof. Dr. Zeliha SELAMOĞLU Niğde Ömer Halisdemir University, Türkiye

CONGRESS SECRETARIAT

Assoc. Prof. Dr. Burak ŞEN Editor of TURJAF, Türkiye

Prof. Dr. Cem BALTACIOĞLU Niğde Ömer Halisdemir University, Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Hande BALTACIOĞLU Niğde Ömer Halisdemir University, Türkiye

Assist. Prof. Dr. Mustafa DUMAN Niğde Ömer Halisdemir University, Türkiye

Assist. Prof. Dr. Mutlu BULUT Niğde Ömer Halisdemir University, Türkiye

Assist. Prof. Dr. Ali Kaan YETİK Niğde Ömer Halisdemir University, Türkiye

Assist. Prof. Dr. Mehmet YETİŞEN Niğde Ömer Halisdemir University, Türkiye

Ahmet AKYOL Niğde Ömer Halisdemir University, Türkiye

Furkan BAŞ Niğde Ömer Halisdemir University, Türkiye

Muhammet Talha İNCE Niğde Ömer Halisdemir University, Türkiye

Ulrich Sosthène Hodonou Sivas Cumhuriyet University, Türkiye

ORGANIZING COMMITTEE of the CONGRESS

Title Name Surname Institute Country

Prof. Dr. Musa SARICA Ondokuz Mayıs University Türkiye

Prof. Dr. Levent BAT Sinop University Türkiye

Prof. Dr. Süleyman ÖZDEMİR Sinop University Türkiye

Prof. Dr. Ahmet ŞEKEROĞLU Niğde Ömer Halisdemir University Türkiye

Prof. Dr. Hasan ELEROĞLU Sivas Cumhuriyet University Türkiye

Prof. Dr. Sedat KARAMAN Gaziosmanpasa University Türkiye

Prof. Dr. Mustafa AVCI Niğde Ömer Halisdemir University Türkiye

Prof. Dr. Ayhan GÖKÇE Niğde Ömer Halisdemir University Türkiye

Prof. Dr. Gülden Sandal ERZURUMLU Niğde Ömer Halisdemir University Türkiye

Prof. Dr. Mirza Barjees BAIG King Saud University Saudi Arabia

Prof. Dr. Raheel NAWAZ Staffordshire University UK

Prof. Dr. Nuray Şahinler Uşak University Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Dilara Kaya ÖZTÜRK Sinop University Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Dilek ŞAHİN Sinop University Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Can Okan ALTAN Sinop University Türkiye

Assist. Prof. Dr. Ayşah ÖZTEKİN Sinop University Türkiye

Assist. Prof. Dr. Uğur ÖZSANDIKÇI Sinop University Türkiye

Assist. Prof. Dr. Cumhur AVŞAR Sinop University Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Hande BALTACIOĞLU Niğde Ömer Halisdemir University Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Khawar JABRAN Niğde Ömer Halisdemir University Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Metin ÖZGÜVEN Ankara University Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Yonis GULZAR King Faisal University Saudi Arabia





Assoc. Prof. Dr. Zeynep ÜNAL Niğde Ömer Halisdemir University Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Burak ŞEN Niğde Ömer Halisdemir University Türkiye
Assoc. Prof. Dr. M. Emin BİLGİLİ Eastern Mediterranean Agricultural Research Institute Türkiye
Assoc. Prof. Dr. İlker İNAL Eastern Mediterranean Agricultural Research Institute Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Ahmet UÇAR Ankara University Türkiye
Assist. Prof. Dr. Uzair Aslam BHATTI Hainan University China
Assoc. Prof. Dr. Allah BAKHSH University of the Punjab Pakistan
Assist. Prof. Dr. Abdul Qayoom HAMAL Birmingham City University UK
Assist. Prof. Dr. Mutlu BULUT Niğde Ömer Halisdemir University, Türkiye
Assist. Prof. Dr. Ali Kaan YETİK Niğde Ömer Halisdemir University, Türkiye
Assist. Prof. Dr. Mehmet YETİŞEN Niğde Ömer Halisdemir University, Türkiye
Dr. Dilek Yaprak USLU Niğde Ömer Halisdemir University, Türkiye
Dr. Hümeysra YAMAN Field Crops Central Research Institute Türkiye

SCIENTIFIC COMMITTEE of the CONGRESS

Title Name Surname Institute Country

Prof. Dr. Levent BAT Sinop University Türkiye
Prof. Dr. Süleyman ÖZDEMİR Sinop University Türkiye
Prof. Dr. Hünkar Avni DUYAR Sinop University Türkiye
Prof. Dr. Serap Ustaoglu TIRIL Sinop University Türkiye
Prof. Dr. Demet KOCATEPE Sinop University Türkiye
Prof. Dr. Ahmet ŞEKEROĞLU Niğde Ömer Halisdemir University Türkiye
Prof. Dr. Hasan TANGÜLER Niğde Ömer Halisdemir University Türkiye
Prof. Dr. Adnan ÜNALAN Niğde Ömer Halisdemir University Türkiye
Prof. Dr. Mustafa AVCI Niğde Ömer Halisdemir University Türkiye
Prof. Dr. Cem BALTACIOĞLU Niğde Ömer Halisdemir University Türkiye
Prof. Dr. Hasan ÖNDER Ondokuz Mayıs University Türkiye
Prof. Dr. İsmail BÖREKÇİ Aydın Adnan Menderes University Türkiye
Prof. Dr. Zeki BAYRAMOĞLU Selçuk University Türkiye
Prof. Dr. Çiğdem TAKMA Ege University Türkiye
Prof. Dr. Hasan ELEROĞLU Cumhuriyet University Türkiye
Prof. Dr. Sedat KARAMAN Gaziosmanpaşa University Türkiye
Prof. Dr. Zeliha SELAMOĞLU Niğde Ömer Halisdemir University Türkiye
Prof. Dr. Zeynel CEBECİ Çukurova University Türkiye
Prof. Dr. Ali Osman DEMİR Uludağ University Türkiye
Prof. Dr. Harun KAMAN Akdeniz University Türkiye
Prof. Dr. Metin SEZEN Çukurova University Türkiye
Prof. Dr. Raheel NAWAZ Staffordshire University UK
Prof. Dr. Mirza Barjees BAIG King Saud University Saudi Arabia
Prof. Dr. Mosaad A. ABDEL-WAHAB
Food Toxicology & Contaminants Dept., National Research Centre Egypt
Prof. Dr. Uğur YAVUZ Atatürk University Türkiye
Prof. Dr. Ekrem MUTLU Kastamonu University Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Fatih Çağatay BAZ Osmaniye Korkut Ata University Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Emre ŞİRİN Ahi Evran University Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Yeşim BOZKURT ÇOLAK Malatya Turgut Özal University Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Burak ŞEN Niğde Ömer Halisdemir University Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Allah BAKHSH University of the Punjab Pakistan
Assoc. Prof. Dr. Dilara Kaya ÖZTÜRK Sinop University Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Dilek ŞAHİN Sinop University Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Emire ELMAS Sinop University Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Can Okan ALTAN Sinop University Türkiye





Assist. Prof. Dr. Ayşah ÖZTEKİN Sinop University Türkiye
Assist. Prof. Dr. Brian TAINIKA Niğde Omer Halisdemir University Türkiye
Assist. Prof. Dr. Mustafa DUMAN Niğde Omer Halisdemir University Türkiye
Assist. Prof. Dr. Emre AKSOY Middle East Technical University Türkiye
Assist. Prof. Dr. Kadir ERENŞOY Ondokuz Mayıs University Türkiye
Assist. Prof. Dr. Gulnur SULEIMANOVA Kazakh National Agrarian Research University Kazakhstan
Assist. Prof. Dr. Bruna RAMALHO Universidade Federal do Paraná Brazil
Assist. Prof. Dr. Aneela AFZAL Pir Mehar Ali Shah Arid Agriculture University Pakistan
Assist. Prof. Dr. Ali Kaan YETİK Niğde Ömer Halisdemir University Türkiye
Assist. Prof. Dr. Nabeel KAEAT College of Agriculture, University of Al-Muthanna Iraq
Assist. Prof. Dr. Malik H. KAREM College of Agriculture, AL-Muthanna University Iraq
Assist. Prof. Dr. Ahmed Shamhi JABBAR University of Al-Qadisiyah Iraq
Assist. Prof. Dr. Muhammad Habib-ur-RAHMAN Georg-August-University of Göttingen Germany
Assoc. Prof. Dr. Hatun BARUT Eastern Mediterranean Agricultural Research Institute Türkiye





Yayın Ve Düzenlemede Görevlendirilmiş Akademisyen Temsilci

11–12 Haziran 2026 tarihinde Sinop/Türkiye’de “8. Uluslararası Tarım, Gıda, Çevre ve Biyoloji Kongresi (TARGID 2026)” gerçekleştirilmesinde, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Rektörlüğü’nün 04/02/2026-777021 sayısı olurları ile aşağıda isimleri verilen akademisyenlere **yayın ve düzenlemede akademik temsilci** olarak yer almalarına izin verilmiştir.

Prof. Dr. Hasan USLU
Prof. Dr. Ahmet ŞEKEROĞLU
Prof. Dr. Zeliha SELAMOĞLU
Prof. Dr. Ayhan GÖKÇE
Prof. Dr. Mustafa Avcı
Prof. Dr. Gülden Sandal ERZURUMLU
Prof. Dr. Cem BALTACIOĞLU
Doç. Dr. Burak ŞEN
Doç. Dr. Hande BALTACIOĞLU
Doç. Dr. Khawar JABRAN
Doç. Dr. Zeynep ÜNAL
Dr. Dilek Yaprak USLU
Dr. Öğr. Üyesi Ali Kaan YETİK
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet YETİŞEN
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DUMAN
Dr. Öğr. Üyesi Mutlu BULUT
Arş. Gör. Ahmet AKYOL
Arş. Gör. Furkan BAŞ
Arş. Gör. Muhammet Talha İNCE





ULUSLAR ARASI KONGRE ÖZELLİKLERİ

1. Ülkelere göre bildiri sayıları

No.	Ülke	Bildiri sayısı
1	Algeria	5
2	Azerbaijan	5
3	Bangladesh	15
4	Benin	4
5	Bosnia and Herzegovina	1
6	Bulgaria	1
7	Chad	1
8	China	4
9	Côte d'Ivoire	1
10	Ethiopia	3
11	Ghana	4
12	Hungary	3
13	Iran	11
14	Iraq	1
15	Italy	5
16	Kazakhstan	5
17	Kenya	1
18	Malaysia	4
19	Moldova	1
20	Morocco	1
21	Nepal	5
22	Niger	3
23	Nigeria	25
24	Pakistan	18
25	Philippines	1
26	Poland	4
27	Sri Lanka	7
28	Somalia	2
29	Spain	1
30	Sudan	4
31	Tanzania	1
32	Tunisia	5
33	Türkiye	138
34	Uganda	2
35	Ukraine	1
36	USA	2
37	Zimbabwe	1





2. Bilim Kurulunda Yer Alan Yabancı Akademisyenler

(Toplam: 11 yabancı akademisyen, 8 farklı ülke)

Sıra	Unvan	Ad Soyad	Kurum	Ülke
1	Prof. Dr.	Raheel NAWAZ	Staffordshire University	Birleşik Krallık
2	Prof. Dr.	Mirza Barjees BAIG	King Saud University	Suudi Arabistan
3	Prof. Dr.	Mosaad A. ABDEL-WAHAB	Food Toxicology & Contaminants Dept., National Research Centre	Mısır
4	Doç. Dr.	Allah BAKHSH	University of the Punjab	Pakistan
5	Dr. Öğr. Üyesi	Gulnur SULEIMANOVA	Kazakh National Agrarian Research University	Kazakistan
6	Dr. Öğr. Üyesi	Bruna RAMALHO	Universidade Federal do Paraná	Brezilya
7	Dr. Öğr. Üyesi	Aneela AFZAL	Pir Mehar Ali Shah Arid Agriculture University	Pakistan
8	Dr. Öğr. Üyesi	Nabeel KAEAT	College of Agriculture, University of Al-Muthanna	Irak
9	Dr. Öğr. Üyesi	Malik H. KAREM	College of Agriculture, AL-Muthanna University	Irak
10	Dr. Öğr. Üyesi	Ahmed Shamhi JABBAR	University of Al-Qadisiyah	Irak
11	Dr. Öğr. Üyesi	Muhammad Habib-ur-RAHMAN	Georg-August-University of Göttingen	Almanya

3. Yurt dışı katılım oranı

Group	Number of countries	Participation	Percentage
Türkiye	1	138	46.62%
Yurt dışı	36	158	53.38%
Total	37	296	100.00%

Yukarıda verilen bilgiler çerçevesinde, 11-12 Haziran 2026 tarihinde Sinop/Türkiye’de “ 8. Uluslararası Tarım, Gıda, Çevre ve Biyoloji Kongresi (TARGID 2026) ”, uluslararası kongre niteliği taşımakta, akademik teşvik kriterleri ve UAK Doçentlik başvuru koşullarını **sağlamıştır**.





Polyherbal Nano-formulations: A New Frontier in Anticancer, Antibacterial, and Antioxidant Therapies	1-1
Muhammad Tjammal Rehman, Mehwish Majeed, Muhammad Shahid, Adil Jamal, Shaista Shafiq, Ghulam Murtaza Kamal, Arslan Rasool	
Survival Analysis of Marital Status and Labor Force Participation on Mortality Risk in Bangladesh: A Cox Proportional Hazards Model Approach	2-13
Sharmin Akter Akhi, Rozina Yeasmin, Babor Ahmad	
Dietary Supplementation of Bamboo Shoot (<i>Bambusa vulgaris</i>) Meal: Effects on Growth Performance and Meat Quality of Broiler Chickens (<i>Gallus gallus domesticus</i>)	14-14
Ramil Entana, Rio Vincent Camilo, Christine Arcabal, Jhon Mark Montuno	
Economic impact and Household Welfare of Urban Rooftop Gardening: Evidences from Rangpur City of Bangladesh	15-15
Most. Sumaiya, Rozina Yeasmin, Babor Ahmad	
Economic Viability and Constraints of Broiler Farming in Bangladesh	16-20
Md Jahidul Islam, Syeda Maria, Md. Mehedi Hasan, Babor Ahmad	
Evaluating Environmental and Public Health Outcomes of Water Resources Development and Household Water Utilization in Ibadan Metropolis, Nigeria	21-25
Adebayo Adeoye, Oluwale Olalekan Oke, Opeyemi Oladipupo Abegunrin, Adekunle Sarafadeen Adetunji	
Relative organ weights and serum biochemical indices of heat-stressed broilers given in ovo injection of Tomato extract at maturity	26-31
Olayinka Abosede Ojo, Adenike Omolara Awoyinka, Moyinoluwa Orewale Onikeku, Ademola Johnson Ajiboye, Oluwatoyin Christianah Ogunmokin	
Combined In-Vitro and In-Silico Evaluation of Bioactive Phytochemicals from <i>Curcuma longa</i> (Linn.) Against Multidrug-Resistant <i>Enterobacter cloacae</i>: Insights into Antibacterial and Antibiofilm Potential	32-32
Nisar Ali	
Conversion of Various Agricultural Feedstocks to Biochar under Different Pyrolytic Temperatures	33-33
Ammal Abukari	
Botulism in Ruminant Nutrition	34-45
Hatice Nur Kiliç Özel, Mustafa Boğa	
Effects of jackfruit seed powder addition on physicochemical properties and sensory acceptability of Jackfruit Turkish Delight	46-55
Nur Ariff Aiman Mohd Salleh, Faisal Ahmad	
Risking the harvest: Vegetable farmers perspectives on heavy metal contamination from wastewater irrigation in Tamale Metropolis, Ghana	56-56
Ammal Abukari	
Quantifying Climate Sensitivity of Apple Orchard Vigor Using Sentinel-2 NDVI and Lagged Meteorological Variables	57-57
Ali Kaan Yetik, Burak Şen	
Remote Sensing-Based Evaluation of Vegetation Condition and Drought-Related Spatial Dynamics in Bursa Province, Türkiye	58-65
Ali Kaan Yetik	
Integrating Microclimate and Biomechanics to Predict Tomato Cracking in Greenhouse	66-66
Srishti Chauhan, Prodipto Bishnu Angon	
The Role of Gluten in Dog Nutrition: Ration Formulation and Dietary Management	67-73
Ercan Mevlıyaoğulları, Arda Yıldırım	
Feed Efficiency and the Circular Use of Local Resources in Sustainable Animal Production: Perspectives on Precision Nutrition, Animal Health, and Product Quality	74-79
Ercan Mevlıyaoğulları, Serap Göncü, Arda Yıldırım	
Bioactive <i>Sesamum indicum</i> L. seed oil from Supercritical CO₂ Extraction: Fatty Acid Profile, Nutritional energy and Antimicrobial Potential	80-80
Elifgöl Çayır, Tuba Erim, Hatice Banu Keskinaya, Süleyman Doğu	
Chemical Composition and Antimicrobial Activity of <i>Lavandula angustifolia</i> L. Essential Oil Determined by GC-MS	81-81
Ahmet Ali Karabacak, Hatice Banu Keskinaya	
Dr. Yield Performance and Genetic Gain Potential of Indigenous Leafy Vegetables Under Different Harvest Frequencies	82-88
Yusuf Abdulkareem, Olawale Mashood Aliyu	
Techno-economic evaluation of pectin production from apple pomace	89-89
Derya Dursun Saydam, Rumeysa Önal, İpek Aslan Sürmeli, Ali Coşkun Dalgıç	
Ecological-geobotanical study of the <i>Festuca-Poa</i> community-Thymus formation phytocenosis in the mountainous part of Lankaran	90-90
Elshad Gurbanov, Sanubar Aslanova	





Floristic and ecological analysis of the Stipetum–Festucosum formation in the mountainous areas of Lerik region	91-91
Elshad Gurbanov, Sanubar Aslanova	
English Precision Nutrition Strategies to Reduce Antibiotic Use and Improve Gut Health in Broiler Chickens	92-95
Muhammad Umair Asghar, Qurat ul ain Sajid, Sibel Canoğulları Doğan, Martyna Wilk , Mariusz Korczyński	
From Processing to Performance: Hydrobarothermal Treatment Enhances Protein Utilization in Laying Hens	96-96
Muhammad Umair Asghar, Martyna Wilk	
The Role of Algae Use in Ruminant Nutrition in Reducing Enteric Methane Emissions: A Bibliometric Analysis	97-102
Bilal Selçuk	
Wool Pellets as a Slow-Release Fertilizer and Potential Insect Management in Sustainable Agriculture	103-103
Prodipto Bishnu Angon, Orsolya Pintér	
Molecular Mechanisms of Plant Responses to Abiotic Stress: Salinity and Heavy Metals	104-104
Seda Mesci	
Changes in the Physicochemical and Antioxidant Properties of Granny Smith Apples Depending on Drying Conditions	105-110
Mehmet Yetişen, Ümmügülsüm Kaplan, Cem Baltacioğlu	
Effect of Air Fryer Drying Temperature on the Quality Characteristics of Jerusalem Artichoke	111-116
Mehmet Yetişen, Ümmügülsüm Kaplan, Cem Baltacioğlu, Hasan Uslu	
Potential Utilization of Red Beet Processing By-Products in the Food Industry	117-117
Ümmügülsüm Kaplan, Mehmet Yetişen	
Gluten-free lentil crackers: Technological and sensory characteristics	118-121
Elif Yaver	
Assessing local livelihood and underlying factors for sustainable management of Mangrove forest: Empirical evidence from Satkhira district of Bangladesh	122-122
Md. Masud Rana, Farzana Akter	
Polystyrene-Induced Renal Oxidative Damage and Inflammation Mediated by PPARγ, IL-17, and MAPK8IP3 in Mice	123-123
Abdallah A Baher, Saber Y. Adam, Chenhui Li, Abdelkareem A. Ahmed, Hao-Yu Liu, Widad A. Abdalla, Kennedy J. Ogamune, Hira Sayed, Demin Cai	
Infrastructure As a Catalyst for Economic Growth: A Quantitative Analysis of Padma Bridge of Bangladesh	136-136
Faysal Ahmed Himel, Sojib Bhawmick, Md. Rakibul Hasan, Babor Ahmad	
Land use and water resources in Africa	137-147
Lud Abdi Gaiye, Burak Şen	
Efficient recovery of laccase enzyme from mushroom spent and its application in dye biodegradation in wastewater	148-161
Rashmi Ekanayake, Kalamulla KWYR, Yapa PN	
The Effects of Human Development Index Regions on Consumer Preferences and Chicken Meat Consumption Habits	162-166
Firdes Kılıç, Hasan Eleroğlu , Mesut Türkoğlu	
The Effect of Income Level on Poultry Product Consumption	167-171
Firdes Kılıç, Mesut Türkoğlu, Hasan Eleroğlu	
TUN Assessment of Tocopherols Content in Five Tunisian Pepper Landraces	172-175
Marwa Chouikhi, Riadh Ilahy, Imen Tlili, Thouraya R'him	
TUN Effect of Pepper Genotype and Processing Conditions on Phytochemical Composition and Antioxidant Activity of Tunisian Harissa	176-179
Marwa Chouikhi, Riadh Ilahy, Imen Tlili, Thouraya R'him	
Drought Analysis and Performance Evaluation in Niğde Province Using Different Drought Indices	180-188
Fatma Keskin, Burak Şen	
Food Inflation, Exchange Rates, and Global Commodity Shocks: A Comparative Analysis of Türkiye and Pakistan	189-189
Raheen Rizwan, Mutlu Bulut	
Antifungal Activity of Methanolic Leaf Extract of Gmelina arborea Roxb. ex Sm. AGAINST Fusarium oxysporum Schltdl Causing Damping -Off Disease	191-196
Habiba Maikudi Muhammed, Danazumi I.B., Bello H., Yahaya A., Stephen D.Y, Muhammad H.H	
Potential and Future Prospects for Using Certain Organic Acids in Sustainable Horticultural Crop Culture	197-208
Beyza Hafçı, Fadimana Özel, Yaşar Ertürk	
Enzyme Assisted Extraction of Phenolic Compounds From Mandarin Peels	209-216
Dicle Erciyas, Özlem Akpınar	
Value-Added Marketing Strategies in Traditional Dairy Products: Geographical Indication, Branding, and Storytelling	217-217
Raheen Rizwan, Mutlu Bulut	
Effect of Sweet Potato Flour Addition on Batter Quality and Oil Absorption of Fried Chicken Drumsticks	218-218
Gayani Mendis, Ruvini Mutucumarana, Marcus Andrew	





Phenological and Yield Attributes variation of Nepalese Rice Landraces in Madhesh Province, Nepal	219-219
Abhisek Shrestha, Debin Baral, Rubin Karki, Suman Yadav, Nawraj Kumar Yadav, Chitra Bhushan Yadav, Krishna Kumar Thakur	
Response of Bio-fertilizer and Plant Density in Early Growth and Germination Diversity of Sunflower	220-220
Suman Yadav, Rubin Karki, Marshal Bajgai, Abhisek Shrestha	
Comparative Study of Growth and Yield Characteristics of Barley Genotypes in Field Conditions	221-221
Sameera Shrestha Sameera, Muskan Bista, Rabi Bhattarai, Nishma Pokharel, Satishma Khatiwada, Janga Bahadur Ruchal, Abhishek Shrestha	
Microbial Seed Microbial Priming Enhanced the Germination and Early Seedling Growth of Sunflower	222-222
Nishma Pokharel, Satishma Khatiwada, Abhisek Shrestha	
Effects of calcium, boron, and microbial fertilizer applications on yield and quality of radish (<i>Raphanus sativus</i> L.)	223-223
Kireçli toprak ve serin mevsim yetiştirme koşulları altında Işın Kocabaş Oğuz, Songül Çetin Torun	
Microbial Phytase as a Strategy to Improve Phytate Degradation and Mineral Utilization in Equine Nutrition	224-224
Qurat ul ain Sajid, Muhammad Umair Asghar, Barbara Król, Mariusz Korczyński	
Artificial Intelligence Applications in Sustainable Agriculture	225-225
Burak Şen	
Age-related behavioral activity and welfare status in broilers with different growth profiles	226-226
Kadir Erensoy, Musa Sarica, Mehmet Akif Boz, Hatice Çavdarci	
Assessment of River Floodplains in Sinop Province under Climate Change Scenarios: The Case of Merkez, Gerze and Dikmen Districts	227-227
Bekir Tastan	
GIS-Based Multi-Criteria Decision Making And Fuzzy Logic Approaches For Multi-Hazard Flood And Flash Flood Risk Exposure Assessment In Sinop Province, Türkiye	228-228
Bekir Tastan	
Effect of Roasting Methods and Microwave-Assisted Extraction on the Bioactive Compounds of Date Seeds	229-235
Hande Baltacıoğlu, Gözde Doğanay	
Multivariate Evaluation of Physicochemical Properties of Functional Vegetable Powders	236-241
İkbal Abdullah Şahin, Hande Baltacıoğlu, Hasan Tangüler	
From Awareness to Behavior: A Qualitative Investigation of Food Waste Behaviors in the Context of Environmental Consciousness and Dietary Practices	242-242
Sibel Ayyıldız, Şenol Ayyıldız	
Development of novel silver and zinc nanobiocomposites by Mastic gum (<i>Pistacia lentiscus</i>) and impregnation on surgical sutures for accelerated wound healing: Characterization, Biological and Cytocompatibility studies.	243-243
Arslan Rasool, Muhammad Shahid, Fozia Anjum, David Fengwei Xie, Muhammad Tjammal Rehman	
Akıllı Ambalaj Sistemleri İçin Patates Kabuğu Nişastası Esaslı Biyoplastiklerde Gül Hatmi (<i>Alcea rosea</i>) Ekstraktının Potansiyelinin Değerlendirilmesi	244-244
Çağla Çam, Ayça Aydoğdu Emir, Eda Yıldız	
Transforming Urban Balconies into Sustainable Production Spaces: Data-Driven Modular Design and Organic Food Cultivation	245-245
Hilal Gülçin Kara, Aynur Kayabaş, Mehmet Noraslı	
Assesment of Calf Care, Feeding, and Health Management Practices in Dairy Cattle Farms in Niğde Province	246-262
Ayhan Ceyhan, Sema Yaman Fırıncioğlu, Sibel Canoğulları Doğan, Ahmet Şekeroğlu	
Dr Poultry Production and Consumption True-Price Accounting in Ethiopia	263-283
Getachew Legese Feye, Tamrat Gebiso Challa, Tadele Mamo, Samuel Diro, Temesgen Jembere	
Welfare Impact of Urban Agriculture in Ethiopia: Evidence from a Multinomial Endogenous Switching Regression Model	284-296
Tadele Anagaw Zewdu	
Transforming Brewery Waste into High-Protein, Lean Chicken Feed: BrewGrow Poultry	297-297
Nabila Berrighi	
Premium Lean Turkey Meat through Hydroponic Barley and Aromatic Herb Formulations GreenBarley Turkey Labs	298-298
Nabila Berrighi	
Effect of Marination Technique and Marinade Type on the Physicochemical and Sensory Properties of Broiler Thigh Meat	299-299
Malithi Binaragama, Ruvini Mutucumarana, Sameera Thisera	
Development of Value-Added Chicken Sausages using Optimized Combinations of Edible Offal and Non-Meat Ingredients	300-300
Dilhara Hasminadi, Ruvini Mutucumarana, Sameera Thisera	
Physicochemical and Nutritional Characterization of <i>Polyalthia longifolia</i> Seed Flour and Oil	301-301
Emmanuel Ifedi, A. Ajayi Ibironke, S. Shiva Kaki	





Utilizing Plant-Based Protein Sources from Agricultural By-Products: Addressing Challenges for Aquaculture Sustainability	302-302
Syed Makhdoom Hussain	
Microplastics in the Human Body: Environmental Exposure and Potential Health Effects	303-304
Sunakbaeva Dilara	
Gestational surrogacy: clinical outcomes and maternal fetal risks	305-305
Sunakbaeva Latofat	
Occurrence of microplastics in marine environments and their potential toxicological impacts	306-306
Antoni Sureda, Maria Magdalena s Quetglas-Llabré, Amanda Cohen-Sánchez, Montserrat Compa	
Clinical Effects of a Polyphenol-Enriched Chewing Gum Containing Scutellaria lateriflora L. and Cistus x incanus L. Extracts in Subjects with Gingivitis: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Trial	307-307
Lorenza Francesca De Lellis, Maria Vittoria Morone, Hammad Ullah, Daniele G iuseppe Buccato, Angela Cerqua, Alessandra Baldi, Alessandro Di Minno, Maria Daglia	
Mr. Adoption of Climate-Smart Agriculture Among Rice Farmers in Bangladesh	308-317
Ehsanur Rauf Prince	
Probiotic Administration Correlated with Reduced Diarrheal Incidence and Improved Gut Microbiota Diversity in Young Goats	318-318
Mohamed Osman Abdelrahem Essa, Cheng Cheng, Jun Li, Xiao Han, Zhong Kang Wei , Layla Ahmed Mohammed Abdelhadi, Huda Ahmed Hassan, Saber Y. Adam , Hosameldeen Mohamed Husien, Ahmed A. Saleh, Darong Cheng	
Bibliometric Analysis of Probiotic Bacteria and Lactic Acid Bacteria as Alternatives to Antibiotics for Controlling Escherichia coli and Enhancing Poultry Growth Performance	319-319
Widad A. Abdalla, Mohammed Osman Abdelrahem Essa, Abdallah A. Basher, Saber Y. Adam, Abdelkareem A. Ahmed, Hao-Yu Liu, Demin Cai	
Remittance Inflows and Sustainable Economic Growth in Bangladesh: An ARDL Bounds Testing Approach	320-334
Introduction, Literature, Methods, Result, Discussion and Conclusion Md. Safayat Hossen Roni, Md. Anowar Hossain, Babor Ahmad	
Ekstrüde Atıstırmalık Üretiminde Tahıl ve Baklagil Karışımlarının Etkileri	335-340
Cem Baltacıoğlu, Mustafa Hafez	
Evaluation of Seaweed Application on Physiological Traits of Durum Wheat Landraces Under Drought Stress	341-348
Buse Tuna, İbrahim Köken, Ufuk Demirel	
In vitro gastrointestinal survival of vegetative cells and spores of novel probiotic Bacillus strains	349-349
Ayşe Avcı, Fikriye Alev Akçay, Elif Sezer, Esma Alemdar, Aisha Dahir Ahmed, İnci Cerit	
Production of Dietary Fiber from Legume Processing Waste	350-356
Cem Baltacıoğlu, Asiye Özcan Tarım	
Rapid Evaluation of Bentonite Quality Using Physicochemical Parameters to Predict Aflatoxin Binding Efficiency	357-357
Dinesha Amarasinghe, Ruvini Mutucumarana, Thushara Jayawardana	
Climate Smart Agricultural Practices Among Maize Farmers: Evidence from Osun State, Nigeria	358-358
Michael Famakinwa, Dr. A. F. Agboola, Fadodun A. R, Mr S. I. Salawu, Dr O. S. Sadiku, E. O. Aliu	
Sustainable Management of the Invasive Alien Weed Mimosa pudica Through Vermicomposting: Impacts on Nutrient Enrichment, Earthworm Reproduction, and Crop Growth Performance	359-359
Sajid Al Azwad, Nazmul Hossain	





Polyherbal Nano-formulations: A New Frontier in Anticancer, Antibacterial, and Antioxidant Therapies

Muhammad Tjammal Rehman^{*1}, Mehwish Majeed², Muhammad Shahid², Adil Jamal¹, Shaista Shafiq¹, Ghulam Murtaza Kamal¹, Arslan Rasool²

¹Department of Biochemistry and Biotechnology, The University of Faisalabad, Pakistan.

²Department of Biochemistry, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan.

Abstract

Cancer is defined as the uncontrolled cell division of cells. Cancer being reported as the 2nd most common cause of deaths worldwide is the major health challenge faced by researchers in current decade. Currently, plants are significantly being used for the treatment of cancer due to their benefits and lower side effects. In this research work, the maceration method was used to form polyherbal extracts using different solvents. These polyherbal extracts were then used to synthesize zinc oxide nanoparticles using ethanol, hydroethanol, and distilled water as solvents by green synthesis method. ZnO nanoparticles synthesized from hydroethanol and ethanol extracts exhibited sharp peaks at 372 and 384 nm, correspondingly, but those of distilled water extract displayed a sharp peak at 327 nm in UV-visible analysis. Scanning electron microscopy (SEM) demonstrated a spherical morphology of synthesized nanoparticles. Zeta potentials for ZnO-NPs from ethanol, hydroethanol, and water extracts were determined to be 19.8 mV, -18.6 mV, and -16.1 mV, respectively. The sizes of the ZnO-NPs were found to be 167.76 nm, 473.9 nm, and 3508.8 nm, respectively. Ethanolic extract nanoparticles have the highest DPPH activity while hydroethanolic extract have the significant TPC and TFC content. Ethanol nanoparticles have shown significant zone of inhibition against *E. coli* and *Staphylococcus aureus*. Lowest MIC values (0.312 mg/ml for *E. coli* and 1.25 mg/ml for *S. aureus*) were recorded in case of ethanolic extract nanoparticles and highest in case of hydroethanol. Results of hemolytic activity and Ames assay indicate that these nanoparticles are non-toxic and non-mutagenic in nature. Results of anticancer activity against 3T3 and Hela cell lines have shown all of these nanoparticles are inactive against these cell lines suggesting their promising anticancer activity. All the experiments were performed in triplicates. All the results of this research work conducted suggest that nanoparticles synthesized from distilled water, ethanol and hydroethanol extracts of polyherbal product have spherical shape with significant antioxidant and antibacterial activities. Cytotoxicity and anticancer studies suggest that these nanoparticles are non-toxic, non-mutagenic and have anticancer potential.

Key Words: Anticancer, antibacterial, cytotoxicity, Zinc oxide nanoparticles, polyherbal product





A Survival Analysis of Marital Status and Labor Force Participation on Mortality Risk in Bangladesh: A Cox Proportional Hazards Model Approach

Sharmin Akter Akhi¹, Rozina Yeasmin (Lucky)¹ Babor Ahmad¹

¹Department of Economics, Hajee Mohammad Danesh Science and Technology University, Dinajpur-5200, Bangladesh.

Abstract

This study is a research study examining the interrelationship between marital status, labor force participation, and mortality in Bangladesh as secondary sources of data, namely, the Bangladesh Population and Housing Census (2022), the Sample Vital Registration System (SVRS 2022), and the Bangladesh Demographic and Health Survey (BDHS 2022). The research aims is to investigate the relationship between socio-demographic characteristics and the labor force participation and mortality risk. Descriptive statistics indicate that widowed and divorced people especially the inactive ones economically, have higher rates of deaths. The analysis uses Cox Proportional Hazards Models to measure the hazard ratios (HR) of various demographic groups in which widowed people were found to be at 73% higher risk of dying than their married counterparts. The risk of mortality in the economically inactive people is 9 % higher than those who are active. This study concludes that marital status and labor force participation are equally important factors that lead to mortality, and inactivity and marital disruption together increase health susceptibility especially among women and the rural population. This study also proposes policies that will enhance access to healthcare and economic opportunities, especially to widowed, divorced, and non-economic active groups, especially in the rural areas.

Key Words: Marital status, Labor force participation, Mortality risk, Gender disparities, Public health policy

Introduction

Mortality patterns in Bangladesh are shaped by various socio-economic determinants, including marital status and labor force participation. Married persons and individuals in the labor force enjoy better health and lower mortality than unmarried and inactive individuals (N Goldman., 1990, Annika M.H. Åhs., 2006). Marriage often provides emotional and financial support (Sally Wyke, Graeme Ford, 1992) and it can reduce the risk of unhealthy behaviors such as poor diet or alcohol use leading to better health outcomes (D Umberson, 1992). Conversely, individuals who are widowed, divorced, or single may lack social and financial security, increasing their vulnerability to health risks. Similarly, Labour force participation could provide financial independence and the possibility to accumulate earnings and wealth (S Arber, 1991). It may also provide a source of social support, social recognition, and self-esteem and is associated with better access to healthcare, contributing to lower mortality rates (Carme Borrell, 2004). The fact that labor force participation and marriage share some of the pathways through which they potentially influence health raises the possibility that they interact in the way they influence health and mortality. For example, the lack of a partner's social support for a divorced man or woman may be partly compensated by the availability of social support derived from colleagues and friends at work. Similarly, the lack of financial security provided by own earnings from work could be compensated by the presence of a partner who is active in the labor market. A substantial body of research has looked into whether combining employment, marriage, and/or parenthood is associated with health (P Martikainen, 1995). Some of the theories on combining multiple roles may be useful to understand these relationships. The role accumulation hypothesis postulates that having multiple roles provides benefits for women, as employment provides financial independence and social support (L M Verbrugge, 1986). On the other hand, the multiple role hypothesis suggests that combining employment, marriage, and parenthood may be harmful to women's health due to increased stress from competing demands (P Martikainen, 1995). Fulfilling the obligations of each role may lead to role overload and conflict, which may result in an increased risk of disease and mortality (G Sorensen, L M Verbrugge, 1987). There are important gender differences in the distribution of multiple roles, as well as role expectations, between men and women (Selim et al., 2025), which may lead to different associations with health and mortality (C Borrell, J Benach., 2001). For example, role expectations imply that generally men are more often expected to be active in the labor market than women. As a result, being out of the labor force may lead to more stress and health deterioration for males than for females. There may be also gender differences in the selection processes leading to marriage and employment: men out of the labor force may be a more selective group in terms of poor health and disability, while women may be out of the labor market more often out of choice, particularly women who are married (Selim et al., 2025). The interaction between marriage and labor force participation may differ with different social





protection policies. However, unemployment and informal employment present significant challenges, particularly in rural areas.

A major feature of Bangladesh labor market is its duality (Selim et al., 2025): while a portion of the population is employed in the formal sector, the majority works in informal, unregulated jobs without legal protection or social security benefits. According to the BBS Labor Force Survey (2022), over 85% of the labor force is engaged in the informal sector, with women disproportionately represented in low-wage and insecure employment. Female labor force participation remains low at around 38%, compared to 81% for men, due to cultural barriers, unpaid care responsibilities, and limited access to formal employment. Economically inactive populations—particularly elderly women, homemakers, and persons with disabilities—are among the most vulnerable to adverse health outcomes. Youth unemployment and underemployment remain major challenges, potentially impacting long-term health and wellbeing.

In terms of marital patterns, Bangladesh continues to exhibit high rates of early and near-universal marriage, particularly for women. Child marriage remains a significant issue despite legal restrictions, with around 51% of women aged 20–24 reporting marriage before age 18 (UNICEF, 2022). Early and often economically dependent marriages can have long-term consequences for women's health, autonomy, and mortality risk (Hasan et al., 2025). Widowhood is more prevalent among women, due to gender gaps in life expectancy and the tendency for women to marry older men. Divorce and separation are rising, albeit from a low base, especially in urban areas, contributing to social stigma and economic vulnerability for affected individuals.

Gender disparities are deeply embedded in both labor force participation and mortality risks. Cultural expectations often confine women to unpaid domestic roles, contributing to their economic inactivity and dependence on male family members. This economic vulnerability, combined with reduced healthcare access and social marginalization, significantly heightens health risks among women, especially those who are unmarried, widowed, or divorced.

Understanding the factors that influence mortality is essential for improving public health and ensuring social well-being (Yeasmin et al, 2025). In Bangladesh, marital status and labor force participation are two key social determinants that are often overlooked in mortality research and policy discussions (Khanom et al., 2024; Banu et al., 2021). Although several studies have examined health outcomes based on income, age, or gender, very few have explored how marital relationships and economic activity jointly impact mortality.

In this study we examine whether labor force participation and marriage interact in their association with mortality in Bangladesh, whether labor force participation modifies the association between marriage and mortality and whether marital status modifies the association between labor force participation and mortality. We hypothesize that marriage attenuates the mortality risk associated with labor force inactivity, while labor force participation attenuates the mortality risk associated with being unmarried.

Review of Literature

Literature Review

Jahan and Sultana (2023) focused on young adults and early marriage in rural Bangladesh. They found that early marriage, especially among women aged 15–18, had long-term health implications, including early childbirth complications, increased maternal mortality, and low participation in the labor force. The study stressed the need for integrated education and reproductive health programs.

BBS (2022) provided key labor force statistics for Bangladesh, indicating that over 85% of the workforce is employed in the informal sector. Informal employment lacks job security, healthcare benefits, and social protection, which increases vulnerability to health shocks. The data highlighted that economically inactive and informally employed persons, especially women, face greater health risks.

Ahmed and Hossain (2022) conducted a statistical analysis using the Bangladesh Household Income and Expenditure Survey (HIES) to examine the effect of labor force participation on health outcomes. Their regression analysis showed that individuals engaged in regular employment had significantly lower chances of reporting chronic illness compared to those economically inactive. The findings were consistent across gender, but more pronounced among males.

International Labour Organization (ILO, 2022) reported that Bangladesh's informal labor market contributes to socioeconomic health inequalities. Workers in informal jobs—largely consisting of women and rural populations—suffer from low wages, unsafe working conditions, and lack of access to health services. The report linked informal employment and unstable marital relationships (e.g., early widowhood or separation) with long-term health vulnerabilities.

Islam and Hossain (2022) used a Poisson regression model to estimate mortality differentials based on marital status in rural districts. Their findings showed that divorced and widowed individuals had significantly higher mortality risk, even after adjusting for age and education. The study recommended that public health programs must account for marital disruptions when targeting vulnerable populations.





Rahman and Karim (2022) analyzed how marriage and employment interact to influence life expectancy using data from the HIES 2016. The regression-based study found that the combination of being married and employed was significantly associated with longer life expectancy, while being unmarried and unemployed was a major predictor of premature death, particularly among males.

UN Women (2021) highlighted gender-based disparities in economic activity and health in Bangladesh. The report revealed that female labor force participation remains low due to cultural norms and domestic responsibilities. Women who are widowed, divorced, or never married face heightened social vulnerability and limited access to income or healthcare. The report recommended expanding economic opportunities and healthcare access for marginalized women.

WHO (2021) published a report on social determinants of health in South Asia, highlighting how marital disruption and unemployment are linked to health risks. The report emphasized that in low- and middle-income countries, these risks are amplified due to weak healthcare systems, limited social protection, and gender inequality. It recommended integrating social determinants like marital status and employment into national health policies.

Rahman and Nasrin (2021) analyzed the effect of marriage on male mortality in Bangladesh using SVRS data. Their statistical model showed that never-married and divorced men had significantly higher risks of premature death compared to married men. The study attributed this to lifestyle factors, lack of emotional support, and greater likelihood of substance abuse among unmarried men.

Kabir and Rahman (2021) explored the consequences of spousal loss among male elders in the Sylhet region. Using both qualitative and quantitative data, they found that widowed men were at risk of alcoholism, malnutrition, and depression, all of which contributed to premature mortality. The authors noted that although widowhood is often studied among women, men also face serious post-bereavement health challenges.

Ferdous and Khan (2021) conducted a demographic study using SVRS data to assess mortality among the working-age population. Their findings revealed that individuals aged 35–54 who were unemployed or unmarried had disproportionately high mortality rates. The analysis linked this to increased mental health challenges and reduced health-seeking behavior due to social stigma.

UNDP (2021) published a policy brief emphasizing how socioeconomic inequalities in labor participation and marital instability worsen health disparities in South Asia. Specifically in Bangladesh, the report highlighted that divorced women and jobless men were among the most overlooked in national health coverage plans. The brief recommended targeted subsidies and inclusive healthcare policies.

Research Gap of the Study

Although many studies worldwide show that marital status and employment influence health and mortality, research in Bangladesh rarely examines both factors together. Most studies focus on either marital status or labor force participation separately and often ignore differences by gender, residence, and other demographic factors. In addition, limited use of advanced statistical methods and combined national datasets (SVRS, BDHS, and LFS) leaves important gaps. This study addresses these limitations by integrating national data to explore how marital status and labor force activity jointly affect mortality in Bangladesh.

Methodology

Study Area

As this study relies on nationally representative secondary data, the study area encompasses the entire country of Bangladesh. Bangladesh is a lower-middle-income country located in South Asia, bordered by India on the west, north, and east, Myanmar on the southeast, and the Bay of Bengal on the south (Rabbani and Ahmad, 2021; Khanom et al., 2024). The country has a total area of about 147,570 square kilometers and a population exceeding 170 million (BBS, 2024). Administratively, Bangladesh is divided into eight divisions: Dhaka, Chattogram, Rajshahi, Khulna, Barisal, Sylhet, Rangpur, and Mymensingh, each representing unique demographic and socioeconomic characteristics.



Figure 1. Map of the Study Area (Bangladesh)





Determination of the Sample Size

Determining the suitable sample size is essential for ensuring the validity and reliability of study outcomes (Khanom et al., 2024). When the population size is unknown, Cochran's formula is commonly employed to determine the sample size. This formula is broadly recognized for its capacity to provide accurate estimates in such circumstances. The formula is expressed as follows:

$$n = z^2 \cdot p \cdot (1-p) / e^2$$

Where,

n = Required sample size

z = The z value, representing the standard normal deviate (1.96 is used for a 95% confidence level)

p = Percentage picking a choice, expressed as decimal (0.5 used for sample size needed)

e = Margin of error (precision) set at 5% (0.05 for 5% margin of error)

So, the required per division sample size is, $n = z^2 \cdot p \cdot (1-p) / e^2$

$$= (1.96)^2 \cdot 0.5 \cdot (1-0.5) / (0.05)^2$$

$$= 0.9604 / 0.0025$$

$$= 384.16 \approx 385$$

Therefore, the total sample size is $= 385 \cdot 8$
 $= 3080$

Collection of Data

The study is entirely based on secondary data. Data were collected from Sample Vital Registration System (SVRS 2022), Bangladesh Demographic and Health Survey (BDHS 2022), Labor Force Survey (LFS 2022) & Bangladesh Population and Housing Census (2022).

These secondary datasets are credible and widely used in academic research, policy-making, and development planning. They provide comprehensive and reliable data to ensure adequate coverage of different segments of the population, including rural and urban residents, different socioeconomic groups, males and females, and a wide range of age groups.

Variables Used in the Study

Dependent Variable:

- **Mortality:** Recorded as number of deaths per 1,000 population or as categorical outcomes by marital and employment status (sourced from SVRS).

Independent Variables:

- **Marital Status:** Married, never married, widowed, and divorced.
- **Labor Force Participation:** Active (employed), inactive (unemployed or not in labor force), informal employment, and formal employment.
- **Gender:** Male or Female.
- **Place of Residence:** Urban or rural.

Model Specification

To estimate the impact of marital status and labor force participation on mortality, this study uses a Cox Proportional Hazard Model. The Cox model is appropriate for time-to-event data where the dependent variable is the time until death, and it allows for the estimation of hazard ratios (HR) for different covariates.

The hazard function for individual i at time t is given by:

$$h_i(t) = h_0(t) \times \exp(\beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki})$$

Where,

$h_i(t)$: Hazard rate for individual i at time t

$h_0(t)$: Baseline hazard function

$X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{ki}$: Covariates such as marital status, labor force status, gender, and residence.

β_k : Coefficients measuring the impact of covariates on the hazard rate

The results are expressed as Hazard Ratios (HRs) with 95% confidence intervals. A hazard ratio greater than 1 indicates a higher risk of mortality, while a value less than 1 indicates a protective effect.

Functional Form of the Model

The Cox Proportional Hazards Model used in this study takes the following functional form:

$$h_i(t) = h_0(t) \times \exp(\beta_1 \times \text{Marital Status}_i + \beta_2 \times \text{Labor Force Status}_i + \beta_3 \times \text{Gender}_i + \beta_4 \times \text{Residence}_i)$$

Where,

$h_i(t)$: Hazard rate of death for individual i at time t





$h_0(t)$: Baseline hazard function

Marital Status;: Categorical variable for marital status (married, never married, widowed, divorced)

Labor Force Status;: Categorical variable for labor force participation (active & inactive)

Gender;: Categorical variable for gender (male & female)

Residence;: Categorical variable for residence (urban & rural)

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$: Coefficients measuring the effect of each covariate

Data Analysis

The data were analysed through descriptive analysis (Frequency tables and percentages were used to summarize demographic characteristics and identify initial patterns), software analysis (STATA 17 were used), Regression analysis (the cox proportional hazard model was applied to assess factors affecting mortality while controlling for gender and residence).

Limitations of the Study

Although there are many strengths of this study, there are some limitations also.

- The study relies entirely on secondary data, which restricts the research to variables already available in those datasets.
- Some important determinants, like income level, family size, and education quality, could not be included due to a lack of data.
- The study integrates data from only one year (2022), which may lead to time-related inconsistencies in population characteristics.

Despite these limitations, the study offers important insights into how marital status and labor force participation relate to mortality patterns in Bangladesh, and it can serve as a foundation for future research using more granular or longitudinal data.

Results & Discussion

Distribution of Population

Table 1. Distribution of Population by Marital Status

Marital Status	Frequency	Percent	Cumulative Percent
Married	1,526	49.55	65.00
Never Married	802	26.04	91.04
Widowed	276	8.96	100.00
Divorced/Separated	476	15.45	15.45

Source: SVRS 2022, BDHS 2022

Table 2. Distribution of Population by Gender

Gender	Frequency	Percent	Cumulative Percent
Female	1,392	45.19	45.19
Male	1,688	54.81	100.00

Source: SVRS 2022, BDHS 2022

Table 3. Distribution of Population by residence

Residence	Frequency	Percent	Cumulative Percent
Rural	2,011	65.29	65.29
Urban	1,069	34.71	100.00

Source: SVRS 2022, BDHS 2022

Table 4. Distribution of Population by Labor Force Participation

Labor force participation	Frequency	Percent	Cumulative Percent
Active	1,940	62.99	62.99
Inactive	1,140	37.01	100.00

Source: LFS 2022

Table 5. Distribution of Population by Mortality

Mortality	Frequency	Percent	Cumulative Percent
0 (Alive)	2,976	96.62	96.62
1 (Dead)	104	3.38	100.00

Source: SVRS 2022, BDHS 2022





Mortality Rate by Marital Status

Table 6. Mortality Rate by Marital Status (Per 100 Population)

<i>Marital Status</i>	<i>Mortality Rate</i>
Married	2.23
Never Married	3.49
Widowed	7.25
Divorced/Separated	4.62

Source: SVRS 2022, BDHS 2022

Married individuals show the lowest mortality rate (2.23), underscoring the protective effects of marital union. Marriage provides companionship, emotional stability, and psychological well-being, which are strongly linked to better health outcomes. Married persons often enjoy shared income and resources, allowing better access to food, housing, and healthcare. Spouses frequently monitor each other's health, encourage medical treatment, and promote healthier lifestyles.

Never married individuals have a moderately higher mortality rate (3.49) than married people. Unmarried individuals often lack emotional companionship and care during illness. Social pressure, loneliness, and lack of family belonging can contribute to depression and stress-related illnesses.

Widowed individuals face the highest mortality risk with a rate of 7.25. This supports the hypothesis that spousal loss significantly deteriorates emotional and physical well-being, especially when coupled with aging and economic dependency. After losing a spouse, individuals may withdraw socially, reducing mental stimulation and care opportunities.

Divorced or separated individuals have significantly higher mortality (4.62) than married people but lower than widowed ones. Marital breakdown causes emotional distress, anxiety, and loss of self-esteem, all of which affect physical health.

Mortality Rate by Marital Status & Gender

Table 7. Mortality Rate by Marital Status & Gender (Per 100 Population)

<i>Marital Status</i>	<i>Male Mortality Rate</i>	<i>Female Mortality Rate</i>
Married	64.7	35.3
Never Married	46.4	53.6
Widowed	50	50
Divorced/Separated	45.5	54.5

Source: Calculated from SVRS 2022 and BDHS 2022

Married individuals, regardless of gender, show the lowest mortality rate, with males 64.7% and females 35.3%. Married men have a significantly higher mortality rate compared to married women. In Bangladesh and many similar societies, married men are usually the main earners and often work in physically demanding or risky jobs (construction, transport, agriculture), leading to higher exposure to accidents or occupational hazards. On the other hand, married women, being more health-conscious and often better connected to healthcare services (e.g., through maternal health programs), tend to seek treatment earlier. They generally have stronger immune systems and higher resistance to certain chronic diseases, contributing to their survival advantage.

Never married individuals have moderately higher mortality rates & unmarried women face slightly higher mortality compared to unmarried men. In traditional societies like Bangladesh, unmarried women may face social stigma, economic dependence, and less support during illness. They may have less access to healthcare services or financial means to afford treatment. Being unmarried in a family-oriented society can bring loneliness and social pressure, indirectly affecting health. On the other hand, never-married men might live longer here due to fewer family responsibilities, lower stress from providing for dependents, or different lifestyle choices.

Mortality is equal for both genders among the widowed. Both widowed men and women may experience emotional distress, loneliness, and reduced financial stability, leading to similar health deterioration. Losing a spouse removes emotional and practical care, equally affecting both genders.

Divorced/separated individuals also show significantly elevated mortality rates. But the women experience higher mortality than their male counterparts. In Bangladesh, divorced women often face severe social discrimination, reduced family support, and financial hardship, leading to poor living conditions and limited access to healthcare. Stress, depression, and social isolation are more severe among divorced women due to cultural expectations. On the other hand, divorced men might remarry more easily, regain stability, and receive care from new partners or families, lowering mortality risk.





Mortality Rate by Marital Status & Residence

Table 8. Mortality Rate by Marital Status & Residence (Per 100 Population)

<i>Marital Status</i>	<i>Rural Mortality Rate</i>	<i>Urban Mortality Rate</i>
Married	50	50
Never Married	57.1	42.9
Widowed	65	35
Divorced/Separated	63.6	36.4

Source: Derived from SVRS 2022, BDHS 2022

Married individuals experience the same mortality in both urban and rural areas, indicating the protective effects of better access to healthcare and social services. They generally receive emotional, financial, and caregiving support from their partners regardless of residence.

Never married individuals in rural areas (57.1%) face higher mortality compared to urban residents (42.9%). In rural Bangladesh, remaining unmarried can carry social stigma, particularly for women, leading to isolation and neglect. Unmarried rural people may have less stable income sources, fewer assets, and weaker social networks. On the other hand, urban unmarried individuals often have better access to jobs, healthcare, and social services that reduce mortality.

Mortality among widowed individuals is almost twice as high in rural areas. Widowhood in rural Bangladesh often brings financial hardship, land insecurity, and emotional distress, especially for women. Rural widows often depend on family support, which may be limited or absent, leading to malnutrition and poor living conditions. In urban settings, widowed individuals can access old-age allowances, NGOs, or community programs that offer financial or emotional assistance.

Rural divorced or separated individuals especially women face substantially higher mortality than those in urban areas. In rural Bangladesh, divorced women often face severe social rejection, limiting their access to community resources or remarriage opportunities. Lack of financial independence and property rights can lead to malnutrition and chronic stress. But the urban divorced individuals often benefit from NGO support, women's organizations, and job opportunities that improve survival chances.

Mortality Rate by Labor Force Participation

Table 9. Mortality Rate by Labor Force Participation (Per 100 Population)

<i>Labor Force Status</i>	<i>Mortality Rate</i>
Active	2.99
Inactive	4.04

Source: Calculated from LFS 2022, SVRS 2022, and BDHS 2022

The mortality rate for economically active individuals is 2.99, which is significantly lower than the inactive individuals (4.04). Active workers typically have regular income or financial independence, allowing access to quality food, housing, and healthcare services. Having a job gives individuals a sense of purpose, which is linked to lower stress and better overall health outcomes.

On the other hand, inactive individuals often rely on others for financial support, limiting access to healthcare, nutritious food, and healthy living conditions. Unemployment or dependence can cause depression, anxiety, and a sense of helplessness, negatively affecting immune function and longevity.

Mortality Rate by Labor Force Participation & Gender

Table 10. Mortality Rate by Labor Force Participation and Gender (per 100 population)

LABOR FORCE STATUS	MALE MORTALITY RATE	FEMALE MORTALITY RATE
ACTIVE	53.4	46.6
INACTIVE	52.2	47.8

Source: Calculated from LFS 2022, SVRS 2022, and BDHS 2022

The table indicates that among both active & inactive in the labor force, men have a slightly higher mortality rate than women. Occupational Hazards like the risky and physically demanding jobs such as construction, agriculture, transport, and industry increasing their exposure to accidents, injuries, and work-related diseases. Work Pressure & Stress, unhealthy lifestyle behaviors (smoking, alcohol consumption, and poor dietary habits) raise their risk of chronic diseases (e.g., heart disease, stroke). But the economically active women tend to work in less hazardous sectors (education, healthcare, or informal domestic work) and may adopt healthier lifestyles.





On the other hand, for inactive labor force, many inactive men are elderly or retired, and aging naturally increases susceptibility to chronic illness and mortality. Withdrawal from the labor market can lead to psychological distress, loss of identity, and reduced self-esteem, all of which affect health. Many inactive women (especially homemakers) remain socially connected through family networks, which provide emotional and caregiving support that can reduce mortality risk. Women are often more attentive to health issues, seek medical advice earlier, and benefit from community health programs (especially maternal and reproductive services).

Mortality Rate by Labor Force Participation & Residence

Table 11. Mortality Rate by Labor Force Participation and Residence (per 100 population)

<i>Labor Force Status</i>	<i>Rural Mortality Rate</i>	<i>Urban Mortality Rate</i>
Active	55.2	44.8
Inactive	60.9	39.1

Source: SVRS 2022, LFS 2022, BDHS 2022

Among the economically active, urban residents have a slightly lower mortality rate (44.8) than rural residents (55.2). Rural workers often have poor access to medical facilities, emergency care, and preventive health services. They generally have less income and education, which limits awareness of health risks and ability to afford treatment. But the urban workers benefit from better healthcare facilities, higher income opportunities, and health-related information, leading to lower mortality.

Among the inactive population, mortality risk rises sharply, especially in rural areas (60.9). Inactive individuals in rural Bangladesh especially the elderly, widowed, or disabled often live in poverty without financial support. Social welfare programs and pension schemes are weaker in rural areas, leaving vulnerable groups without adequate care. Distance to hospitals, high treatment costs, and lack of transport prevent rural inactive individuals from seeking timely care. The Urban inactive individuals, such as retired professionals or homemakers, may still access better medical services, live in cleaner environments, and benefit from NGO or government programs.

Mortality Rate by Marital Status & Labor Force Participation

Table 12. Mortality Rate by Marital Status & Labor Force Participation (per 100 population)

<i>Marital Status</i>	<i>Active</i>	<i>Inactive</i>
Married	41.2	58.8
Never Married	40	60
Widowed	32.1	67.9
Divorced/Separated	50	50

Source: SVRS 2022, BDHS 2022, LFS 2022

Among married individuals, those who are inactive (58.8) in the labor force experience much higher mortality than those who are active (41.2). Inactive married individuals often rely on their spouses for financial support. If household income is low, healthcare and nutrition suffer. It often leads to a sedentary lifestyle, increasing the risk of chronic diseases. Active married individuals tend to have structured routines and greater access to resources, which improves survival. Work provides purpose and mental stimulation, reducing stress and depression that can harm health.

Among the never married, inactivity is strongly associated with higher mortality. Unmarried inactive individuals may live alone with limited emotional and financial support. Without work or family support, they may struggle to afford medical care and healthy food. Loneliness, lack of purpose, and depression are more common among inactive unmarried individuals. For never-married individuals, the combination of inactivity and social isolation heightens vulnerability to illness and premature death.

Widowed inactive individuals suffer the highest mortality rate (67.9), reflecting extreme vulnerability due to loss of spousal support and lack of economic resources. The death of a spouse leads to emotional distress and loss of economic stability. Most widowed individuals are elderly, and inactivity is often due to physical weakness or disability. Grief, loneliness, and depression reduce immune response and increase disease risk.

In this group, mortality is evenly split between active and inactive individuals. Some active divorced individuals face work-related stress or poor living conditions, offsetting the benefits of employment. Divorced women who are inactive face social stigma and poverty, while divorced men who work may face occupational risks or stress. Both active and inactive divorced individuals often experience high psychological stress, neutralizing the advantage of economic activity.





The Cox Proportional Hazard Model Results

To quantify the relationship between socio-demographic variables and mortality risk, the Cox Proportional Hazard Model was employed. This model is widely used in survival analysis to estimate the effect of explanatory variables on the hazard or risk of death. The model is particularly suited for this study as it allows for comparison of hazard rates between different groups (e.g., marital status, labor force participation, gender, residence), adjusting for the time to event (death).

Table 13. Hazard Ratios (HR) for Mortality by Socio-Demographic Characteristics (Marital Status, Labor Force Participation, Gender & Residence)

Variable	Category	Coefficient	HR	Std. Error	Z-Value	P> Z	95% Ci (Lower)	95% Ci (Upper)
Marital Status	Married	-0.6999623	0.4913	0.1387	-2.52	0.012**	0.2825	0.8544
	Never Married	-0.2235661	0.7576	0.2242	-0.94	0.348	0.4242	1.3531
	Widowed	0.4962783	1.7254	0.5355	1.76	0.079*	0.9391	3.1701
Labor Force	Inactive	0.1268557	1.0940	0.2279	0.43	0.666	0.7273	1.6456
Gender	Female	-0.1037315	0.9128	0.1801	-0.46	0.644	0.6201	1.3438
Residence	Rural	0.315241	1.3148	0.2619	1.37	0.169	0.8899	1.9426
Number of obs	3080							
LR chi2(6)	22.50							
Prob > Chi2	0.0010							
Pseudo R2	0.0238							

**significance at 5% level, *significance at 10% level; Source: Calculation based on SVRS 2022, BDHS 2022, LFS 2022;

The Cox proportional hazards model is statistically significant at the 5% level ($\chi^2(6) = 22.50$, $p = 0.001$). This means that, jointly, the explanatory variables (marital status, labor force participation, gender, and residence) have a significant effect on mortality risk in Bangladesh.

Interpretation of the Results

The results from the Cox Proportional Hazard Model provide valuable insights into how various socio-demographic and economic factors influence mortality risk in Bangladesh. Each covariate included in the model reveals a different aspect of vulnerability or protection against premature death. The interpretation of the model's findings is outlined below:

- **Widowed (HR=1.73; 95% CI: 0.94–3.97)**
Being widowed faces the highest risk of mortality compared to others. The hazard ratio of 1.73 suggests that widowed individuals are 73% more likely to die during the study period than their married counterparts. This could be due to the emotional stress, loss of social and economic support, and potential isolation following spousal loss.
- **Married (HR=0.49; 95% CI: 0.28–0.85)**
Married individuals experience the lowest risk of mortality. The hazard ratio 0.49 indicates 51% lower mortality risk than widowed & divorced which may lead to financial instability, loneliness, and psychological distress, all of which are associated with poorer health outcomes.
- **Never Married (HR = 0.76; 95% CI: 0.42–1.35)**
Those who have never married have a moderate risk of mortality compared to others. The hazard ratio 0.76 suggest that never married individuals have higher risk of mortality than married but lower than widowed or divorced individuals.
- **Inactive vs. Active (HR = 1.09; 95% CI: 0.73–1.65)**
Economic inactivity is associated with a 9% higher risk of mortality than being economically active. The hazard ratio 1.09 suggest that they face high risk of mortality than active people. Employment often ensures better access to healthcare, improved living conditions, and a sense of purpose. Conversely, inactivity may be linked to poverty, stress, or health problems, reinforcing a cycle of vulnerability.
- **Female vs. Male (HR = 0.91; 95% CI: 0.62–1.34)**
Females have a 9% lower risk of mortality than males. The hazard ratio of female 0.91 suggest that female face lower risk than male. That means male have the high risk of mortality.
- **Rural vs. Urban (HR = 1.31; 95% CI: 0.89–1.94)**
Living in urban areas slightly reduces the risk of mortality compared to rural areas. The hazard ratio 1.31 suggest that rural people face the high risk of mortality than urban.





The analysis shows a clear and consistent pattern that married individuals experience the lowest mortality hazard, while widowed and divorced/separated individuals face the highest risk of death. Married individuals have social and emotional support that reducing stress and promoting mental well-being, Health-related monitoring as spouses often encourage timely medical care, & better economic security, enabling access to food, shelter, and healthcare. On the other hand, being widowed or divorced often leads to psychological distress, loneliness, and social isolation, which can negatively affect both mental and physical health.

The inactive individuals show high risk of mortality compared to active individuals. Employment often provides not only income but also structure, social interaction, and purpose, which improve psychological health and reduce risky behaviors. In contrast, economic inactivity can reflect poor health, old age, or limited opportunities, all of which are linked to higher mortality.

Males show slightly higher hazard than females, but the difference is not large. Women tend to live longer in many populations due to biological advantages and lower exposure to risky behaviors (e.g., smoking, hazardous work). The difference here is small, it's likely that socioeconomic and cultural factors drive the mortality variation.

Residence-based analysis shows that urban residents face lower hazard compared to rural residents. Rural residents have limited medical facilities & unhealthy lifestyle that raise the risk of death.

In summary, marital status, labor force participation, and residence exert significant and interpretable effects on mortality hazard. The protective effect of marriage and labor force participation underscores the importance of social and economic integration in improving survival outcomes in Bangladesh.

Conclusion & Recommendations

Conclusion

This study has explored the interrelationships among marital status, labor force participation, gender, residence, and mortality in Bangladesh using secondary data from nationally representative surveys. The findings strongly indicate that both marital and employment status significantly influence mortality risk. From the study we can see that 49.55% of the population is married, followed by 26.04% never married, 8.96% widowed, and 15.45% divorced/separated. Widowed & inactive individuals had the highest mortality rate at 67.9%, divorced & inactive had 50%, while married & active individuals had the lowest rate at 41.2%, suggesting that marriage combined with economic engagement is a protective factor. 62.99% of the population is economically active, while 37.01% is inactive. Inactive individuals face a higher risk of mortality(4.04%), compared to active individuals(2.99%).The Cox Proportional Hazard Model confirmed that Inactive(HR = 1.09) individuals have a 9% higher risk of death compared to active ones. Widowed(HR=1.73) individuals face an 73% higher mortality risk than married counterparts. Females(HR=0.91) show a 9% lower mortality risk than males. Rural dwellers exhibit a 31% higher risk(HR=1.31) than urban residents, indicating that health risks like lack of medical facilities. Therefore, married individuals, particularly those engaged in the labor force, exhibit lower mortality rates, likely due to emotional, social, and financial support mechanisms. Widowed, divorced, and never-married individuals, especially women in rural areas, are disproportionately affected by higher mortality risk, mainly due to social isolation, economic dependence, and limited access to healthcare. Economically inactive individuals, particularly females and the elderly, show elevated vulnerability, reflecting gaps in employment opportunities, social security, and health coverage. The Cox Proportional Hazard Model confirms that marital disruption and labor inactivity are statistically significant predictors of increased mortality. In summary, the study emphasizes the protective effect of marriage and employment and identifies intersectional vulnerabilities among specific demographic groups, such as widowed women in rural areas or unemployed males in urban slums. Reducing mortality in these populations requires multidimensional policy efforts that address both health and social determinants.

Policy Recommendations

Based on the findings, the following multi-dimensional and evidence-based policy measures are proposed:

- **Targeted Support Programs for High-Risk Marital Groups**
Widowed and divorced/separated individuals show higher mortality risk. Introduce community health support, mental health counseling, and financial assistance programs specifically designed for widowed and divorced individuals to reduce vulnerability.
- **Strengthen Employment & Skill-Development Programs**
Inactive labor force groups show elevated mortality risk due to economic stress and limited access to healthcare. Expand job placement programs, vocational training, and income-generating schemes, especially for women and rural residents, to improve economic security and health outcomes.
- **Gender-Sensitive Healthcare & Social Protection**





Men and women experience mortality determinants differently. Develop gender-responsive health policies, such as free check-ups for widowed women, maternal health protection, and occupational safety programs for men in risky jobs.

- **Reduce Rural–Urban Inequalities in Health Services**

Rural areas often show higher mortality due to poor healthcare access. Enhance rural healthcare infrastructure, mobile medical units, and digital health services; expand coverage of community clinics and emergency referral systems.

References

- Ahmed, S. M., Evans, T. G., Standing, H., & Mahmud, S. (2013). Harnessing pluralism for better health in Bangladesh. *The Lancet*, 382(9906), 1746–1755.
- Bangladesh Bureau of Statistics (BBS). (2022). Labor Force Survey 2022. Statistics and Informatics Division, Ministry of Planning, Government of Bangladesh. <http://www.bbs.gov.bd>
- Bangladesh Bureau of Statistics (BBS). (2022). Sample Vital Registration System (SVRS) Report 2022. Government of Bangladesh.
- Bangladesh Demographic and Health Survey (BDHS). (2022). Key Indicators Report. National Institute of Population Research and Training (NIPORT), Mitra and Associates, and ICF International.
- Banu, B., Hossain, M. M., Haque, M. S., & Ahmad, B. (2021). Effect of microfinance adoption on rural household income in selected Upazila of Kushtia District of Bangladesh. *Bangladesh Journal of Multidisciplinary Scientific Research*, 3(1), 24–32.
- Barik, D., & Desai, S. (2014). Determinants of private healthcare utilization and expenditure patterns in India. *International Journal for Equity in Health*, 13(1), 1–13.
- Chowdhury, M. E., Botlero, R., Koblinksky, M., Saha, S. K., Dieltiens, G., & Ronsmans, C. (2007). Determinants of reduction in maternal mortality in Matlab, Bangladesh: A 30-year cohort study. *The Lancet*, 370(9595), 1320–1328.
- Deb, P., & Seck, P. A. (2009). Internal migration, selection bias and human development: Evidence from Indonesia and India. Human Development Research Paper (HDRP) Series, 2009(31), 1–26.
- Ebrahim, S., Kinra, S., Bowen, L., Andersen, E., & Ben-Shlomo, Y. (2010). Socioeconomic determinants of mortality in South Asia: Evidence from the Indian migration study. *American Journal of Epidemiology*, 172(4), 370–380.
- Glei, D. A., Goldman, N., Rodríguez, G., & Weinstein, M. (2003). Beyond self-reports: Changes in biomarkers as predictors of mortality. *Demography*, 40(2), 153–174.
- Gubhaju, B. (2009). The impact of son preference on child mortality in Nepal. *Health Transition Review*, 7(2), 143–163.
- Hasan, M. R., Rabbani, M. G., Ahmad, B., Selim, S., Hossain, M. A., & Jonah, E. (2025). Migration and influencing factors of auto rice mill workers' intentions to stay in villages: An empirical study in selected areas of Dinajpur District. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 23(1), 71–84.
- Hummer, R. A., & Hamilton, E. R. (2010). Race and ethnicity in fragile families. *The Future of Children*, 20(2), 113–131.
- Idler, E. L., & Benyamini, Y. (1997). Self-rated health and mortality: A review of twenty-seven community studies. *Journal of Health and Social Behavior*, 38(1), 21–37.
- Jatrana, S., Crampton, P., & Richardson, K. (2011). How much does labor force participation explain ethnic differences in health? *Health Sociology Review*, 20(3), 293–309.
- Kabir, A., & Razzaque, A. (2000). The impact of marital dissolution on health outcomes: Evidence from Bangladesh. *Asia-Pacific Population Journal*, 15(2), 23–38.
- Khanom, F., Khanom, S., Selim, S., Rabbani, M. G., Uddin, M. M., & Ahmad, B. (2024). Assessment of Income Diversification and Family Welfare: An Empirical Study of Small-Scale Rice Farmers in Dinajpur District, Bangladesh. *Bangladesh Journal of Agricultural Economics*, 44(01&2).
- Kunst, A. E., & Mackenbach, J. P. (1994). The size of mortality differences associated with educational level in nine industrialized countries. *American Journal of Public Health*, 84(6), 932–937.
- Lindstrom, D. P., & Muñoz-Franco, E. (2005). Migration and health: A review of the literature with reference to Latin America. *Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 696(1), 211–245.
- Liu, H. (2009). Till death do us part: Marital status and U.S. mortality trends, 1986–2000. *Journal of Aging and Health*, 21(6), 898–922.
- Mahmood, S. A. I. (2004). Population aging in Bangladesh and its implications on health care. *Asia-Pacific Population Journal*, 19(1), 61–78.
- Martikainen, P., Mäki, N., & Jäntti, M. (2007). The effects of income, wealth, and living standards on mortality among individuals and households in Finland. *Population Studies*, 61(1), 17–34.
- Nahar, Q., & Zahangir, M. S. (2010). Socioeconomic determinants of age-specific mortality in Bangladesh. *The Bangladesh Development Studies*, 33(2), 63–82.
- Rabbani, G. M., & Ahmad, B. (2021). An analysis of economic efficiency of garlic production in selected upazila of Dinajpur District in Bangladesh. *BAUET Journal*, 3(1), 144–153.
- Rahman, M., & Barsky, A. (2003). Knowledge of AIDS and use of condoms across marital status in Bangladesh. *International Family Planning Perspectives*, 29(2), 71–77.
- Rahman, M., & Islam, M. J. (2022). Labor force participation and its determinants in Bangladesh: A gender perspective. *Bangladesh Development Studies*, 45(2), 55–78.
- Rahman, M., Goni, A. Z., & Miah, M. S. (2021). Female labor force participation and household decision-making in Bangladesh. *Asian Journal of Women's Studies*, 27(1), 60–78.





- Ross, C. E., & Mirowsky, J. (2002). Family relationships, social support, and subjective life expectancy. *Journal of Health and Social Behavior*, 43(4), 469–489.
- Selim, S., Zahid, A., Ahmad, B., Hasan, M. R., & Hossain, M. A. (2025). Factors influencing women's participation in nonfarm economic activities: Insights from the fishing community of Chandpur, Bangladesh. *Diversity & Inclusion Research*, 2(3), e70034.
- Sen, A. (1998). Mortality as an indicator of economic success and failure. *The Economic Journal*, 108(446), 1–25.
- Sharma, A., & Mishra, U. S. (2013). Marital status and health outcomes: A study of older adults in India. *Social Science & Medicine*, 98, 76–84.
- Stuckler, D., Basu, S., Suhrcke, M., Coutts, A., & McKee, M. (2009). The public health effect of economic crises and alternative policy responses in Europe: An empirical analysis. *The Lancet*, 374(9686), 315–323.
- Umberson, D. (1987). Family status and health behaviors: Social control as a dimension of social integration. *Journal of Health and Social Behavior*, 28(3), 306–319.
- UN Women. (2021). *Women and Labour Markets in Asia: Promoting Gender Equality in Employment*. UN Women Regional Office for Asia and the Pacific.
- United Nations (UN). (2022). *World Population Prospects 2022: Highlights*. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. <https://population.un.org/wpp>
- World Bank. (2021). *Bangladesh Labor Market Update*, November 2021. World Bank Group. <https://www.worldbank.org/en/country/bangladesh>
- Yeasmin, R., Ahmad, B., Khanom, S., Hossain, M. S., Uddin, M. M., Selim, S., ... & Sohag, A. (2025). Agricultural finance dynamics in Bangladesh: exploring factors influencing rice yield and farmers' access to credit. *International Journal of Sustainable Agricultural Management and Informatics*, 11(4), 402-427.





Dietary Supplementation of Bamboo Shoot (*Bambusa vulgaris*) Meal: Effects on Growth Performance and Meat Quality of Broiler Chickens (*Gallus gallus domesticus*)

Ramil Entana¹, Rio Vincent Camilo², Christine Arcabal², Jhon Mark Montuno²

¹Mindanao State University-Buug, Philippines

²Sibugay Technical Institute Incorporated, Philippines

Abstract

The increasing restrictions on antibiotic growth promoters in poultry production have intensified the search for sustainable, plant-based alternatives. This study evaluated the effects of bamboo shoot (*Bambusa vulgaris*) meal supplementation on the growth performance, carcass characteristics, meat quality, and economic return of broiler chickens (*Gallus gallus domesticus*). A total of 120-day-old chicks were assigned to four treatments under a Completely Randomized Design: T₀ (basal diet), T₁ (3 g/kg bamboo shoot meal), T₂ (6 g/kg), and T₃ (9 g/kg). The feeding trial lasted 35 days. Growth parameters, dressed weight, average daily gain (ADG), feed conversion ratio (FCR), sensory attributes, and return on investment (ROI) were analyzed using ANOVA and Tukey's HSD. Results showed that supplementation significantly improved body weight from day 21 onward ($p < 0.05$), with T₁ consistently exhibiting the highest final weight (6,865.8 g) and ADG (313.64 g/day). Dressed weight was significantly enhanced in T₁ compared with the control ($p < 0.05$). Although FCR improved numerically in supplemented groups, differences were not statistically significant. Sensory evaluation indicated enhanced palatability and texture in supplemented treatments, though without significant variation among groups. Economic analysis revealed that only T₁ generated a positive return (ROI = 4.08%), while higher inclusion levels resulted in reduced profitability. These findings demonstrate that bamboo shoot meal at 3 g/kg can enhance growth performance and carcass yield without adverse effects on meat quality, offering a promising, sustainable feed additive for broiler production. Further studies are recommended to evaluate long-term effects and optimize inclusion levels under commercial conditions.

Key Words: bamboo shoot meal, broiler performance, phyto-genic feed additive, meat quality, sustainable poultry nutrition





Economic impact and Household Welfare of Urban Rooftop Gardening: Evidences from Rangpur City of Bangladesh

Most. Sumaiya Habib¹, Rozina Yeasmin (Lucky)¹, Babor Ahmad¹

¹ Department of Economics, Hajee Mohammad Danesh Science And Technology University, Dinajpur-5200, Bangladesh

Abstract

This study investigates the economic and social benefits of rooftop gardening for urban households in Rangpur City Corporation, Bangladesh. Using a cross-sectional research design, data were collected from 308 households practicing rooftop gardening through structured questionnaires. The study explores how rooftop gardening influences household income, food security, and consumption behaviors. Ordinary Least Squares (OLS) regression analysis was employed to examine the relationship between rooftop gardening practices and key economic outcomes. The results indicate that rooftop gardening positively impacts household income by providing savings on vegetable purchases and offering extra income from surplus sales. Additionally, households reported enhanced food security, with improved access to fresh produce and a more diverse diet. The findings suggest that rooftop gardening not only supports household economic stability but also contributes to greater food self-sufficiency and resilience against food disruptions. Socioeconomic factors such as education, garden size, and gardening duration were found to significantly influence these outcomes. This study emphasizes the importance of rooftop gardening as a sustainable urban agricultural practice that can improve economic well-being, enhance food security, and support healthier consumption patterns in mid-sized urban areas like Rangpur.

Key Words: Rooftop Gardening, Urban Agriculture, Economic Resilience, Sustainable Urban Development





Economic Viability and Constraints of Broiler Farming in Bangladesh

Most. Sumaiya Habib¹, Rozina Yeasmin (Lucky)¹, Babor Ahmad¹

¹Department of Economics, Hajee Mohammad Danesh Science And Technology University, Dinajpur-5200, Bangladesh

Abstract

The production issues and profitability of broiler farming in Bangladesh's Feni District are examined in this monograph. By examining production costs, revenues, and profitability indicators, the study aims to evaluate the region's broiler farms' economic feasibility. Important problems that affect the financial stability of broiler farmers include market instability, disease control, and variable feed prices. This study is based on data gathered from 54 broiler farms in Feni, which includes information on management strategies, feed costs, farm size, and experience. Professional training has a considerable impact on farm profitability, according to the results of the hypothesis test. Training-receiving farmers reported an average profit of 22,629.57 Taka higher than non-training farmers (t-value: -11.4562, p-value: 0.0000). Furthermore, the multicollinearity tests show that feed costs and production changes are positively correlated with earnings, which makes them essential for guaranteeing the industry's financial performance. Welch's test also demonstrates how economies of scale help larger farms become more profitable, while lower profit margins and higher production expenses plague smaller farms. Low-interest loans and farmer training programs are among the suggestions made in the monograph's conclusion to increase the profitability of broiler farming. The local community's economic stability and food security can be enhanced by the broiler farming industry in Feni achieving long-term sustainability by tackling these problems. The study effectively achieves its goal of examining the profitability and difficulties of broiler farming in Feni and offers useful advice and insights to raise the sector's sustainability and profitability.

Key Words: *Broiler farming, Feed cost, Profitability, Professional Training, Production*

Introduction

Agriculture remains the backbone of Bangladesh's economy with the poultry sector playing a central role in enduring food security and fostering rural development (Mujeri, & Mujeri, 2021; Selim et al., 2026). Among the various segments of poultry farming broiler production has emerged as a key contributor to both national income and household livelihoods (Dolberg, 2007, Alders et. al., 2018). As a cost effective source of animal protein broiler meat is an integral component of the Bangladeshi diet while broiler farming offers significant employment opportunity in rural areas thereby reinforcing its importance to the agricultural landscape.

In recent decades the broiler farming sector in Bangladesh has witnessed a remarkable transformation (Das et. al., 2008, Rahman, et al., 2017). Traditional farming methods have been gradually replaced by more intensive and modern techniques driving the growth of the sector. The burgeoning demand for poultry products coupled with advancements in breeding feeding and disease management has led to notable improvements in productivity and profitability (Chadd, 2008, Rabbani & Ahmad 2021, Acheampong, 2024). These innovations have made broiler farming a commercial viable enterprise for a large number of farmers contributing to the overall economic development of the country (Besbes, et al., 2012, Nkukwana, 2018, Ramukhithi, et. al., 2023).

Feni district situated in southeastern Bangladesh has emerged as a prominent hub for broiler production. The districts favorable climate availability of affordable labor and proximity to key local markets make it an attractive region for poultry farming. Local farmers have increasingly adopted modern farming practices such as the use of improved poultry breeds and advanced management techniques which have led to significant gains in both productivity and profitability (Harris, & Newman, 1994, Quddus, 2012, Ramukhithi, et.al., 2023, Acheampong, 2024). Despite these positive developments the industry faces several persistent challenges that hinder its growth and long term sustainability (Bansal, 2002, Danciu, 2013, Ahmad, 2024). Among these are rising feed prices market volatility disease outbreaks and inadequate infrastructure issues that continue to limit the full potential in Feni (Moller, et. al., 2023, Mwacalimba, et. al., 2025).

This study aims to evaluate the productivity and profitability of broiler farming in selected areas of Feni district focusing on key factors as production costs labor input market access and disease management. Through this investigation the research seeks to provide valuable insights into the economic viability of broiler of farming in the region. Moreover, the study will identify the primary challenges confronting farmers and propose strategies to address these constraints thereby enhancing the sustainability and profitability of broiler farming in Feni district and potentially in other similar regions of Bangladesh.





Methodology

Study Area and Data Collection

The study was conducted in Feni district a key area for broiler production in southeastern Bangladesh. The study focuses on three Upazilas Sonagazi, Daganbhuiyan, and Chhagalnaiya which have active poultry farming practices and a significant number of commercial broiler farms. These areas were selected based on their diverse farm sizes and farmer engagement in the poultry sector.

Data were collected from 54 randomly selected broiler farmers in these upazilas through face to face interviews. The interviews focused on farm management aspects such as production costs, feed and medicine usage, labor, quantitative and qualitative data ensuring the reliability and accuracy of the findings.

OLS Regression Model

To assess the factors influencing the profitability of broiler farming, the study employs an Ordinary Least Squares (OLS) regression model (Bandara, and Dassanayake, 2006). The dependent variable, Profitability, is measured in terms of net income from broiler production. The independent variables include socio-economic factors, farm characteristics, and management practices (Ali et al., 2015; John et al., 2020).

The regression model is specified as follows:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \beta_3 X_{3i} + \beta_4 X_{4i} + \beta_5 X_{5i} + \beta_6 X_{6i} + \beta_7 X_{7i} + \beta_8 X_{8i} + \beta_9 X_{9i} + u_i \dots (i)$$

Where: Y_i is the profitability of the farm, $X_1, X_2, \dots, X_9$ Independent Variables, β_0 Intercept term, $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_9$ Coefficients representing the effect of each independent variable on profitability, u_i is the Error term capturing factors including in the model.

Hypothesis Testing

The following hypotheses are tested to evaluate the relationship between different factors and the profitability of broiler farming:

Impact of Professional Training on Profitability

- Null Hypothesis (H_0): No significant difference in profitability between farms with and without professional training.
- Alternative Hypothesis (H_1): Farms with professional training are more profitable than those without.

Effect of Disease Outbreaks on Profitability

- Null Hypothesis (H_0): Disease outbreaks do not affect the profitability of broiler farms.
- Alternative Hypothesis (H_1): Disease outbreaks negatively impact profitability.

Effect of Professional Engagement on Profitability

- Null Hypothesis (H_0): Professional engagement does not affect the profitability of broiler farms.
- Alternative Hypothesis (H_1): Farms with higher professional engagement are more profitable.

Multicollinearity Test

To detect multicollinearity among the independent variables in the regression model, the Variance Inflation Factor (VIF) is used (Fox and Monette 1992; Daoud, 2017).

The VIF is calculated using the formula:

$$VIF = \frac{1}{1 - R^2}$$

Where $VIF > 10$, is the coefficient of determination from the regression of an independent variable on all other variables. A VIF greater than 10 suggests multicollinearity (Schroeder et al., 1990).

Result and Discussion

Summary Statistics

The analysis of 54 broiler farms in Feni district provides valuable insights into the socio-economic and operational dynamics of poultry farming. The average monthly profit across the farms is BDT 26,259, though significant variation exists in profits which reflects differences in farm size, management practices, and input costs. The average age of farmers is 40.02 years, and the average education in poultry farming indicates a gap in formal knowledge.





Farm accessibility to markets is favorable with an average distance of 0.42 km which aids in the efficient sale of products. Capital investment varies widely with larger farms investing more reflecting economics of scale. The average time spent on poultry farming is 8.31 hours per day underlining the labor intensive nature of the industry. The average level of experience among farmers is 7.5 years which plays a significant role in their farm management practices and profitability.

Table 1. Summary Statistics

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Profit	54	26259.26	12535.51	10000	50000
Age	54	40.01852	12.00863	19	73
Education	54	9.277778	4.931289	0	17
Professional training	54	.1111111	.3172206	0	1
Distance from household	54	.4240741	.7025386	0	4
Total cost	54	349677.2	206329.9	80700	1195000
capital	54	472963	669558.1	20000	5000000
Long involving poultry farm	54	7.5	5.544843	1	27
Time spends	54	8.314815	3.800815	0	16
Chicken production	54	2111.111	1564.544	500	7000

N.B.: Std. Dev = Standard Deviation, Min = Minimum, Max = Maximum; Source: Author's compilation based on field survey 2025

OLS Regressing Model

The OLS regression analysis reveals key determinants of profitability in broiler farming in Feni district. The results indicate that age has a positive on profitability with each additional year of age increasing profit by BDT 54.68 highlighting the importance of experience in farm management. However, education shows a negative correlation (-187.7) suggesting that more years of schooling may initially result in lower profits due to decrease in profitability by BDT 2411 indicating that multitasking may reduce farm management effectiveness. A significant negative relationship is observed with distance from household for every kilometer farther from the farm profitability decreases by BDT 2,634 likely due to higher transportation costs. Conversely total cost has a positive effect where every additional BDT spent results in an increase in profit by 0.0087 BDT reflecting economies of scale. Experience contributes substantially to profitability with each additional year of experience increasing profits BDT 1,036. Time spent on poultry farming also plays a significant role with each additional hour spent increasing profits by BDT 380.8, underscoring the labor intensive nature of the sector. Finally, chicken production shows a strong positive correlation with profitability with every kilogram of chicken produced adding BDT 2.718 to profits. The model explains 78.9% of the variation in profits (R-squared=0.789) indicating that these factors are crucial in determining the economic success of broiler farming in Feni district.

Table 2. OLS Regression Model on Determinants of Profit of Poultry farming

Variable	Unit of Measurement	Co-efficient
Age	Year	54.68
Education	Year	-183.7
Involvement in other profession	0= No and 1= Yes	-2,411
Distance from household	Km	-2,634*
Total Cost	BDT	0.00870
Capital	BDT	-5.72e-05
Experience	Year	1,036***
Time spends on poultry farming	Hours per day	380.8**
Chicken production	kg	2.718***
Constant		7,468*
Observations		54
R-squared		0.789

N.B.: ***p<0.001, **p<0.05, *p<0.1; Source: Authors Estimation 2025

Hypothesis Testing

Three hypotheses were tested to evaluate key factors affecting profitability in broiler farming:

- H01: No significant difference in mean profits between farms with and without professional training.
- Ho2: No significant difference in profits due to sickness outbreaks.
- Ho3: No significant difference in profits based on professional involvement.





Professional Training: Farms with professional training report significantly higher profits (BDT 41,764.71) compared to those without training (BDT 19,135.14) with a mean difference of BDT 22,629.57 ($p < 0.01$), indicating that professional training positively impacts profitability.

Disease Outbreaks: The impact of disease outbreaks on profitability is not statistically significant ($p = 0.1983$). While farms with outbreaks reported lower profits the data does not provide strong evidence to suggest that outbreaks have a significant impact on financial outcomes.

Professional Engagement: Farms with higher professional engagement report significantly higher profits (BDT 44,285.71) compared to those without (BDT 23,474.47) with a mean difference of BDT 20,711.25 ($p < 0.01$), suggesting that professional involvement enhances profitability.

Table 3. Hypothesis Testing

Null Hypo.	Variables	Obs.	Mean	Mean Diff.	Std. Dev.	t-value	p-value	Decision
H ₀₁	With training	37	-	22629.57	6596.136	-	0.00	Rejected
	Without training	17	19135.14		7085.058	11.4562		
H ₀₂	With outbreak	52	26692.31	11692.31	12575.32	1.3090	0.1983	Accepted
	Without outbreak	2	15000		0			
H ₀₃	With profession	47	23574.47	-20711.25	10977.73	-4.8765	0.00	Rejected
	Without profession	7	44285.71		5345.225			

Source: Authors' calculation from field survey, 2025

Multicollinearity test

Variance Inflation Factor (VIF) is a critical diagnostic tool used in regression analysis to detect multicollinearity which occurs when independent variables are highly correlated with each other. Multicollinearity can lead to biased coefficient estimates inflated standard errors, and reduced model reliability (Kim, 2019)

Table 4. The results of the VIF test for the variables in this study

Variable	VIF	1/VIF
Chicken	3.30	0.303248
Total cost	2.41	0.414401
Year of experience	2.18	0.457832
Age	1.61	0.622301
Time spends	1.48	0.673922
Education	1.41	0.710351
Capital	1.26	0.796035
Distance house	1.17	0.853342
Profession	1.12	0.895843
Mean VIF	1.77	

Source: Authors' calculation from field survey, 2025

Interpretation

The VIF values for all variables in the model are well below the commonly accepted threshold of 4 or 10 which indicates that multicollinearity is not a significant issue in this model. Specifically, the VIF values range from 1.12 to 3.30 suggesting low to moderate correlations between the predictor variables which is generally considered acceptable. These result imply that multicollinearity is not concern and that the regression model's estimates are reliable.

Conclusion

This study highlights the significant role of age, experience professional training and production scale in determining the profitability of broiler farming in Feni district. The findings suggest that professional training and greater professional engagement are crucial for improving profitability. However, challenges such as disease outbreaks and high capital costs still hinder the full potential of the sector. By addressing these challenges and promoting training and engagement the sustainability and profitability of broiler farming in Feni can be enhanced.





References

- Acheampong, S. (2024). Future of Broiler Farming: Trends, Challenges, and Opportunities. *Modern Technology and Traditional Husbandry of Broiler Farming*, 113.
- Acheampong, S. (2024). Future of Broiler Farming: Trends, Challenges, and Opportunities. *Modern Technology and Traditional Husbandry of Broiler Farming*, 113.
- Ahmad, B. (2024, October). Socio-Economic Impact of Rice Mill Industry in the Selected Areas of Dinajpur District. In *International Anatolian Agriculture, Food, Environment and Biology Congress* (pp. 134-145).
- Alders, R. G., Dumas, S. E., Rukambile, E., Magoke, G., Maulaga, W., Jong, J., & Costa, R. (2018). Family poultry: Multiple roles, systems, challenges, and options for sustainable contributions to household nutrition security through a planetary health lens. *Maternal & child nutrition*, 14, e12668.
- Ali, Y., Jahan, S., Islam, A., & Islam, M. A. (2015). Impact of socio-economic factors on production performance of small and medium size broiler farming in Bangladesh. *Journal of New Sciences*, 15.
- Bandara, R. M. A. S., & Dassanayake, D. M. W. K. (2006). A quantitative analysis on factors affecting profitability of small scale broiler production.
- Bansal, P. (2002). The corporate challenges of sustainable development. *Academy of Management Perspectives*, 16(2), 122-131.
- Besbes, B., Thieme, O., Rota, A., Guèye, E. F., & Alders, R. G. (2012). Technology and programmes for sustainable improvement of village poultry production. In *Alternative systems for poultry: Health, welfare and productivity* (pp. 110-127). Wallingford UK: CABI.
- Chadd, S. (2008). Future trends and developments in poultry nutrition. In *Poultry in the 21st Century: Avian Influenza and Beyond, Proceedings of the International Poultry Conference* (pp. 269-299). Bangkok, Thailand: FAO Animal Production and Health Proceedings.
- Danciu, V. (2013). The sustainable company: new challenges and strategies for more sustainability. *Theoretical and Applied Economics*, 20(9), 7-26.
- Daoud, J. I. (2017, December). Multicollinearity and regression analysis. In *Journal of physics: Conference series* (Vol. 949, No. 1, p. 012009). IOP Publishing.
- Das, S. C., Chowdhury, S. D., Khatun, M. A., Nishibori, M., Isobe, N., & Yoshimura, Y. (2008). Poultry production profile and expected future projection in Bangladesh. *World's Poultry Science Journal*, 64(1), 99-118.
- Dolberg, F. (2007). Poultry production for livelihood improvement and poverty alleviation. *Poultry in the 21st Century*; FAO: Rome, Italy, 26.
- Fox, J., & Monette, G. (1992). Generalized collinearity diagnostics. *Journal of the American Statistical Association*, 87(417), 178-183.
- Harris, D. L., & Newman, S. (1994). Breeding for profit: synergism between genetic improvement and livestock production (a review). *Journal of animal science*, 72(8), 2178-2200.
- John, A. O., Adenike, S. B., Ayodeji, A. B. T., & Frances, A. C. (2020). Profitability analysis and factors influencing profit level of small-scale broiler farmers in Nigeria. *Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology*, 38(9), 127-135.
- Kim, J. H. (2019). Multicollinearity and misleading statistical results. *Korean journal of anesthesiology*, 72(6), 558-569.
- Moller, K., Eeswaran, R., Nejadhashemi, A. P., & Hernandez-Suarez, J. S. (2023). Livestock and aquaculture farming in Bangladesh: Current and future challenges and opportunities. *Cogent Food & Agriculture*, 9(1), 2241274.
- Mujeri, M. K., & Mujeri, N. (2021). Bangladesh's rural transformation. In *Structural transformation of Bangladesh economy: a South Asian perspective* (pp. 117-170). Singapore: Springer Singapore.
- Mwacalimba, K., Kimeli, P., Tiernan, R., Mijten, E., Miroshnychenko, T., & Poulsen Nautrup, B. (2025). Diseases of Economic Importance in Feedlot Cattle in Sub-Saharan Africa: A Review with a Focus on Existing and Potential Options for Control. *Animals*, 15(1), 97.
- Nkukwana, T. T. (2018). Global poultry production: Current impact and future outlook on the South African poultry industry. *South African Journal of Animal Science*, 48(5), 869-884.
- Quddus, M. A. (2012). Adoption of dairy farming technologies by small farm holders: practices and constraints. *Bangladesh Journal of Animal Science*, 41(2), 124-135.
- Rabbani, G., & Ahmad, B. (2021). Production and profitability of small scale broiler farming in selected areas of Dinajpur district, Bangladesh. *International Journal of Agricultural Research, Innovation and Technology*, 11(1), 69-73.
- Rahman, M. S., Jang, D. H., & Yu, C. J. (2017). Poultry industry of Bangladesh: entering a new phase. *Korean Journal of Agricultural Science*, 44(2).
- Ramukhithi, T. F., Nephawe, K. A., Mpofu, T. J., Raphulu, T., Munhuweyi, K., Ramukhithi, F. V., & Mtileni, B. (2023). An assessment of economic sustainability and efficiency in small-scale broiler farms in limpopo province: a review. *Sustainability*, 15(3), 2030.
- Ramukhithi, T. F., Nephawe, K. A., Mpofu, T. J., Raphulu, T., Munhuweyi, K., Ramukhithi, F. V., & Mtileni, B. (2023). An assessment of economic sustainability and efficiency in small-scale broiler farms in limpopo province: a review. *Sustainability*, 15(3), 2030.
- Schroeder, M. A., Lander, J., & Levine-Silverman, S. (1990). Diagnosing and dealing with multicollinearity. *Western journal of nursing research*, 12(2), 175-187.
- Selim, S., Siddiquee, M. S. H., Hasan, M. R., & Ahmad, B. (2026). Farmers' perception and role of mobile phone for maize production in Bangladesh. *Urban Agriculture & Regional Food Systems*, 11(1), e70050.





Economic Viability and Constraints of Broiler Farming in Bangladesh

Adebayo Samson Adeoye¹, Oluwole Olalekan Oke¹, Opeyemi Oladipupo Abegunrin¹,
Adekunle Sarafadeen Adetunji¹

¹Department of Economics, Hajee Mohammad Danesh Science And Technology University, Dinajpur-5200, Bangladesh

Abstract

This study examined domestic water access, water quality, environmental impacts, and associated health outcomes in Ibadan Metropolis, Nigeria. A cross-sectional survey of 450 households across urban core, peri-urban, and peripheral zones achieved a response rate of 96.8%. Quantitative analysis involved descriptive statistics and laboratory water quality assessment, while qualitative methods explored institutional and governance dynamics. Results show heavy dependence on groundwater sources, with boreholes (42.4%) and hand-dug wells (24.2%) dominating household supply. Only 18.7% reported piped water access and 21.3% experienced reliable service. Mean per capita consumption was 46.7 L/person/day, below recommended standards. Although physicochemical parameters were largely within guideline limits, nitrate exceedance occurred in 18.4% of groundwater samples, and microbial contamination was widespread. Environmental impacts included groundwater depletion (43.1%), surface water pollution (46.4%), and seasonal well failure (37.8%). Household-reported disease prevalence indicated malaria (58.2%), diarrhea (34.7%), and suspected schistosomiasis (12.4%), with higher occurrence among users of shallow wells and surface water. The findings demonstrate that reliance on self-supply groundwater combined with declining infrastructure reliability contributes to water insecurity and health risks. Integrated water management, infrastructure rehabilitation, water quality monitoring, and community health education are recommended to enhance urban water sustainability.

Key Words: *Water resources development; Domestic water use; Water quality; Public health; Urban water scarcity; Nigeria*

Introduction

Water is essential for human survival, ecosystem stability, and socio-economic development, supporting public health, food security, industrial productivity, and environmental sustainability (World Health Organization, 2022; UN-Water, 2023). However, freshwater resources remain unevenly distributed globally, with rapidly urbanizing regions experiencing increasing water stress due to population growth, infrastructure deficits, and environmental degradation (UNICEF & World Health Organization, 2023; World Bank, 2023).

Water resources development encompasses the planning and management of surface and groundwater systems to meet domestic, agricultural, and industrial demands. Contemporary governance frameworks emphasize Integrated Water Resources Management (IWRM), yet implementation remains fragmented in many developing countries (Global Water Partnership, 2021; OECD, 2023).

Nigeria's urban water sector illustrates these challenges. Rapid population growth has outpaced infrastructure expansion, leading to persistent inequalities in water access and increasing reliance on private groundwater abstraction (National Bureau of Statistics, 2022; Adebayo & Oladipo, 2024). Such patterns raise concerns regarding sustainability, environmental degradation, and public health risks, particularly in rapidly expanding cities where informal water supply systems dominate (Lapworth et al., 2021; Foster & MacDonald, 2023).

This study therefore investigates the environmental and health implications of water resources development and household water utilization in Ibadan Metropolis.

Conceptual Framework

Historically, water supply systems in Nigeria relied on rainwater harvesting and untreated surface and shallow groundwater sources. Modern infrastructure development improved coverage but failed to match urban expansion, contributing to persistent deficits. Water resources development activities such as dam construction and groundwater abstraction can alter hydrological regimes, degrade ecosystems, and create favorable conditions for disease vectors (A.S. Adeoye, personal communication, February 23, 2026). Environmental consequences include groundwater depletion, sedimentation, pollution, biodiversity loss, and land degradation. The study aligns with Sustainable Development Goals, related to health, water, sustainable cities, climate resilience, and ecosystem protection.





Figure 1. This framework illustrates the dynamic interactions between water development, environmental integrity, and public health vulnerability within rapidly urbanizing settings.

Methodology

Study Area

The study was conducted in Ibadan Metropolis, southwestern Nigeria, a rapidly urbanizing city characterized by a tropical wet-and-dry climate with bimodal rainfall (1,200–1,500 mm annually) and basement complex geology that influences groundwater occurrence and availability. The metropolis exhibits marked spatial inequalities in water supply infrastructure across urban core, peri-urban, and peripheral zones.

Research Design

A mixed-methods approach was adopted, integrating quantitative household surveys with qualitative institutional interviews and focus group discussions. This design enabled comprehensive assessment of domestic water utilization, water quality, governance structures, and associated environmental and public health implications.

Sampling Procedure

A multi-stage sampling technique was used. First, the metropolis was stratified into urban core, peri-urban, and peripheral zones. Communities within each zone were selected proportionately based on population size. Households were then chosen using systematic sampling. The final sample comprised 450 households, ensuring adequate representation and statistical reliability.

Data Collection

Data for the study were collected using multiple complementary methods to ensure comprehensive coverage and triangulation of findings. Structured household questionnaires were administered to obtain information on socio-demographic characteristics, sources of domestic water, utilization patterns, sanitation conditions, and self-reported health outcomes. In addition, water samples collected from wells, boreholes, piped taps, and surface water sources were subjected to laboratory analysis to determine physicochemical and microbiological quality parameters. Qualitative insights were further generated through key informant interviews conducted with stakeholders in the water supply and health sectors, as well as focus group discussions aimed at capturing community perceptions, experiences, and coping strategies related to water access and use. Secondary data were also sourced from relevant health, environmental, and water supply agencies to complement and validate primary data.





Data Analysis

Quantitative data were analyzed using descriptive statistics and spatial analysis techniques to examine variations in water access and quality across urban zones. Qualitative data were transcribed and subjected to thematic analysis. Findings were triangulated across data sources to enhance validity and reliability.

Results

Socio-Demographic Characteristics

The socio-demographic profile indicates a predominantly economically active population, with most respondents aged 26–55 years. Household size averaging 4–6 persons suggest moderate domestic water demand, while educational variation across zones reflects spatial inequality influencing water awareness and treatment practices. Higher tertiary education levels in urban core communities corresponded with greater adoption of household treatment measures and diversified water sourcing strategies, whereas peri-urban and peripheral areas exhibited stronger dependence on untreated groundwater and surface water sources.

Table 1. Socio-demographic characteristics (n = 450)

Variable	Category	Frequency	Percentage
Age	18–25	54	12.0
	26–40	176	39.1
	41–55	148	32.9
	>55	72	16.0
Gender	Male	238	52.9
	Female	212	47.1
Household size	1–3	98	21.8
	4–6	244	54.2
	≥7	108	24.0
Education	Primary	92	20.4
	Secondary	186	41.3
	Tertiary	172	38.2

Water Sources and Quality

Results demonstrate widespread reliance on self-supply groundwater systems. Boreholes serve as the dominant primary source (42.4%) due to perceived reliability and improved taste compared to piped supply (18.7%). However, many households utilize multiple sources simultaneously as a coping mechanism against intermittent supply. Per capita water consumption (46.7 L/day) falls below recommended standards, indicating constrained water access and potential hygiene limitations. Supply reliability emerged as the strongest determinant of water source selection, followed by affordability and proximity. Storage practices, including container storage and rooftop tanks, were prevalent, increasing risks of post-collection contamination and vector breeding.

Table 2. Household water sources

Source	Frequency	Percentage
Borehole	191	42.4
Hand-dug well	109	24.2
Piped supply	84	18.7
Surface water	43	9.6
Rainwater	23	5.1

Average consumption: 46.7 L/person/day

Physicochemical analysis shows acceptable pH and TDS levels, reflecting relatively stable hydrogeochemical conditions. However, turbidity exceedance suggests sediment transport and surface runoff contamination, particularly during rainy seasons. Elevated nitrate levels detected in groundwater samples likely reflect contamination pathways linked to onsite sanitation systems and agricultural runoff. Microbial contamination was substantial across wells and surface water sources, with *E. coli* detection indicating fecal pollution and inadequate protection of water sources. Spatial analysis revealed higher contamination rates in peri-urban and peripheral zones characterized by high population density, poor sanitation infrastructure, and shallow groundwater tables.

Environmental Impacts and Health Outcomes

Reported environmental impacts indicate significant pressure on urban water ecosystems. Groundwater depletion (43.1%) reflects increasing abstraction associated with borehole proliferation, while seasonal well failure (37.8%) highlights aquifer recharge limitations and climate variability effects. Surface water pollution (46.4%)





was strongly associated with urban runoff, waste disposal, and upstream agricultural activities. Flooding incidents (31.1%) were reported in areas with inadequate drainage infrastructure, contributing to sedimentation and contamination of water bodies. Vegetation loss (25.3%) and watershed degradation further reduce infiltration capacity, exacerbating hydrological instability and declining water quality. Key informants highlighted urban runoff and upstream agricultural activities as drivers of sedimentation and water quality decline.

Environmental impacts

Household-reported disease incidence showed malaria prevalence in 58.2% of households, diarrhea in 34.7%, and suspected schistosomiasis in 12.4%. Disease prevalence patterns show strong relationships between water source type and health risk exposure. This indicates households relying on surface water and shallow wells reported higher malaria and diarrheal disease prevalence due to vector breeding conditions and microbial contamination. Storage practices, intermittent supply, and environmental sanitation challenges contributed to increased exposure to water-related diseases.

Table 3. Physicochemical and microbiological characteristics

Parameter	WHO guideline	Mean	% Exceeding
pH	6.5–8.5	7.1	4.2
Turbidity	<5 NTU	8.4	38.7
TDS	<1000 mg/L	412	6.4
Nitrate	<50 mg/L	57.2	18.4
Total coliform	0	78 CFU/100ml	48.6
E. coli	0	41 CFU/100ml	52.0

Table 4. Water source and health outcomes

Source	Malaria (%)	Diarrhea (%)	Schistosomiasis (%)
Piped water	39.2	18.5	4.8
Borehole	54.1	29.6	9.2
Well	63.3	41.2	14.7
Surface water	71.4	56.0	28.3

Discussion

Groundwater Dependence and Urban Water Inequality

The findings highlight growing dependence on groundwater as a coping strategy for unreliable public supply, reflecting broader urban water transitions across sub-Saharan Africa characterized by decentralized self-supply systems (Foster & MacDonald, 2023; Taylor et al., 2023). While groundwater provides short-term access benefits, uncontrolled abstraction raises sustainability concerns including aquifer depletion and declining water table levels (Lapworth et al., 2021). Inequalities in water access across spatial zones illustrate structural governance challenges and infrastructure deficits disproportionately affecting peri-urban populations (World Bank, 2022; Adebayo & Oladipo, 2024).

Water Quality Degradation and Environmental Drivers

Microbial contamination aligns with evidence of fecal pollution pathways associated with high-density settlements lacking adequate sanitation infrastructure (WHO, 2022; Nkhuwa et al., 2023). Elevated nitrate levels further suggest anthropogenic contamination linked to agricultural activities and onsite sanitation systems (Xu et al., 2022). Environmental impacts of water development, including aquifer depletion and watershed degradation, reinforce the interconnected nature of water quantity and quality challenges in urban systems (FAO, 2022; UNEP, 2021).

Public Health Implications

The strong association between unsafe water sources and disease prevalence underscores the persistent burden of water-related illnesses in urban Nigeria (Prüss-Ustün et al., 2024). Malaria prevalence reflects vector proliferation linked to water storage practices and poor drainage conditions (Afrane et al., 2021), while diarrheal disease prevalence highlights microbial contamination risks associated with unsafe water sources (UNICEF & WHO, 2023). These findings support integrated approaches combining water supply improvements, sanitation interventions, and community health education.

Institutional Fragmentation and Governance Challenges

Qualitative findings indicate fragmented institutional responsibilities and weak regulatory enforcement limiting effective water resource management (Olawuyi, 2022; OECD, 2023). Insufficient monitoring of





groundwater abstraction and water quality further exacerbates environmental and health risks, emphasizing the need for coordinated governance frameworks integrating environmental protection, public health, and infrastructure development.

Implications for Sustainable Urban Development

The results demonstrate that water resources development without integrated environmental and health safeguards can intensify urban vulnerability. Integrated Water Resources Management offers a strategic pathway for balancing water demand, ecosystem protection, and health outcomes (Global Water Partnership, 2021; UNESCO, 2024).

Conclusion and Recommendation

The study highlights significant inequalities in water access in Ibadan Metropolis, with heavy reliance on groundwater and surface water due to unreliable piped supply. Water quality concerns, including microbial contamination and nitrate exceedance, combined with environmental impacts such as groundwater depletion, pollution, and flooding, pose considerable public health risks.

To address these challenges, the study recommends expanding and rehabilitating piped water infrastructure, regulating groundwater abstraction, monitoring water quality, promoting household treatment and safe storage, improving sanitation and drainage, enhancing institutional coordination, and raising community awareness. Longitudinal research is also needed to inform sustainable urban water planning.

References

- Adams, E. A., Boateng, G. O., & Amoyaw, J. A. (2021). Socioeconomic predictors of household water access. *Water Resources Research*. <https://doi.org/10.1029/2020WR028712>
- Adebayo, S. A., & Oladipo, O. (2024). Urban water supply inequalities in Nigeria. *Journal of African Water Studies*. <https://doi.org/10.1016/j.jaws.2024.01.005>
- Afrane, Y.A., Klinkenberg, E., Drechsel, P., Owusu-Daaku, K., Garms, R., & Kruppa, T. (2021). Urban agriculture and malaria risk. *Malaria Journal*. <https://malariajournal.biomedcentral.com>
- FAO. (2022). *The state of the world's land and water resources*. <https://www.fao.org>
- Federal Ministry of Water Resources. (2021). *National water policy review*. <https://fmwr.gov.ng>
- Foster, S., & MacDonald, A. (2023). Groundwater security in Africa. *Hydrogeology Journal*. <https://doi.org/10.1007/s10040-023-02512-1>
- Global Water Partnership. (2021). *IWRM lessons*. <https://www.gwp.org>
- IPCC. (2022). *Climate change impacts and vulnerability*. <https://www.ipcc.ch>
- Lapworth, D. J., Nkhuwa, D.C.W., Okotto-Okotto, J., Pedley, S., Stuart, M.E., Tijani, M.N., & Wright, J. (2021). Urban groundwater quality in Africa. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145305>
- National Bureau of Statistics. (2022). *Water supply survey*. <https://nigerianstat.gov.ng>
- Nkhuwa, D. C. W., Lapworth, D.J., Okotto-Okotto, J., Pedley, S., Carter, R.C., Rivett, M.O. (2023). Groundwater contamination in African cities. *Environmental Earth Sciences*. <https://doi.org/10.1007/s12665-023-10568-7>
- OECD. (2023). *Water governance in developing countries*. <https://www.oecd.org/water>
- Ojo, A., Ayele, B.M., Alemu, A.B., & Yitayew, T.M. (2022). Determinants of water source selection. *Journal of Water and Health*. <https://doi.org/10.2166/wh.2022.056>
- Olawuyi, D. (2022). Water governance fragmentation in Nigeria. *Water Policy*. <https://doi.org/10.2166/wp.2022.118>
- Prüss-Ustün, A., Wolf, J., Johnson, R.B., Ambelu, A., Arnold, B.F., Bain, R., Brauer, M., Brown, J., Caruso, B.A., Clasen, T. & Others (2024). Burden of disease from unsafe water. *The Lancet Global Health*. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(23\)00501-6](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(23)00501-6)
- Taylor, R. G., Gleeson, T., Wada, Y., Graaf, I., Flörke, H., Scott, J., & Van der Ent, R.L.T. (2023). Groundwater and global change. *Nature Reviews Earth & Environment*. <https://doi.org/10.1038/s43017-023-00412-5>
- UN-Water. (2023). *World water development report*. <https://www.unwater.org>
- UNEP. (2021). *Freshwater ecosystem management*. <https://www.unep.org>
- UNESCO. (2024). *World water development report*. <https://www.unesco.org>
- UNICEF & WHO. (2023). *Progress on drinking water and sanitation*. <https://washdata.org>
- WHO. (2022). *Guidelines for drinking-water quality*. <https://www.who.int>
- World Bank. (2022). *Water governance and groundwater sustainability*. <https://www.worldbank.org>
- World Bank. (2023). *Urban water security report*. <https://www.worldbank.org>
- Xu, Y., Uehata, K., Terai, T., Ohtsuki, K., Yoshida, F. (2022). Nitrate contamination of groundwater. *Environmental Research Letters*. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac5b6d>





Relative organ weights and serum biochemical indices of heat-stressed broilers given *in ovo* injection of Tomato extract at maturity

Olayinka Abosede Ojo¹, Adenike Omolara Awoyinka¹, Moyinoluwa Orewale Onikeku¹,
Ademola Johnson Ajiboye¹, Oluwatoyin Christianah Ogunmokin¹

¹Kwara State University, Faculty of Agriculture, Department of Animal Production, +234 Malete, Nigeria

Abstract

Two hundred and forty fertile eggs were randomly assigned to five treatment groups consisting of 3 replicates of sixteen birds each in a completely randomized design. *In ovo* injection of tomato extract (ToE) was carried out per treatment as follows: Treatment one (T1) control group (no injection), Treatment two (T2) injected with 0.5mls saline water only, Treatment 3 (T3) injected with 0.125mg lycopene/ 0.5mls of saline water, Treatment 4 (T4) injected with 0.25mg of lycopene/ 0.5mls of saline water and Treatment 5 (T5) injected with 0.25mg of Vitamin C, immediately after candling on the 18th day. After hatching, the birds in each replicate were housed in a separate pens, till the 42nd day. Selected birds were then slaughtered and organs were excised for further evaluation. Result showed that kidney and GIT weights were significantly raised in T1, except for T4 which was also elevated in GIT. The relative lung weight was significantly increased in T3 and decreased across all other treatments. The serum ALP was significantly raised in T1 and decreased in T2 and T4. AST significantly increased at T4 and T5 similar to the control and T2 value was decreased. Significantly highest relative organ weight values of the kidney and GIT were recorded in T2 with statistically similar values with control group for kidney, and T5 for GIT respectively with the significantly lowest value for GIT noted in T3. Inclusion of oral or dietary inclusion of ToE from week 3 of rearing should be recommended.

Key Words: Broilers, *in-ovo* injection, Tomato, Oxidative status, Organ weight, heat-stress

Introduction

Raising poultry birds represents an important segment of food production and enterprise in small- and large-scale animal farming to solve the challenges of food insecurity at a global level (Pius et al., 2021). One of the most important significances of broiler production is the speedy growth rate potential and quick return on investment, which makes it a very lucrative business for vast agribusiness-oriented individuals of all ages. (Kpomasse et al., 2021) Broiler chicken has been genetically selected to maximize production, in order to achieve a high growth rate and a higher percentage of carcass breast muscle to a successful elevation of 85% according to [Carney et al. \(2022\)](#). This has caused an elevated metabolic activity of birds beginning from the embryonic developmental stage, prompting a depletion of their glycogen reserves at the incubation stage ([Givisiez et al., 2020](#)) ushering chicken embryonic growth into an interim inhibition and limitation in growth rate. In Nigeria and some parts of the world, compensation for the glycogen losses is not always been addressed during transportation from hatchery to the farm (Akosile et al., 2023), sometimes up to about 72 hours, leading to reduced immunity status and increased mortality especially at week one of brooding. This might be due to the tendency of commercial hatcheries to maximize profit. However, to obtain a high hatchability rate and well-developed chicks, a modest enhancement in energy status at the peri-hatching phase could impose a productive impact in the quality of day-old chicks and their post-hatch performance (Geng et al., 2021; Yalcin et al., 2022). Łukasiewicz et al. (2024). An increasing significance has recently been appraised on the application of bioactive substances into the airspace of developing chicken embryos. This technology is known as *ovo* injection (Saeed et al., 2019; Abd El-Ghany 2025) This technology acts as a means of introducing nutritional supplement into the eggs before hatch to carter for the lag in time between hatching and commencement of feeding on the farm. Phyto antioxidants especially lycopene sourced from fresh tomato fruits has emerged as a functional device in revamping chicks' quality, productivity and profitability (Khan et al., 2021; Natali et al., 2025). *In ovo* technology involves the conveyance of nanoscopic amounts of bioactive substances directly into the airspace of developing embryos. Despite the immense literature available on the incorporation of lycopene from tomatoes and its products in the diet of chickens, using different methods of administration, there is little information on the use of *in ovo* method of lycopene administration. (Hidayat et al., 2023; Long et al., 2024) The effect of *in ovo* injection of lycopene on organ weight and oxidative biomarker of broiler has not been well documented. Lycopene is implicated as a protective agent against oxidative damage such as those seen in food deterioration and chronic diseases (Wang, 2023; Mousstaaid et al., 2022). However, the role of lycopene as a dietary antioxidant in broiler chickens exposed to stressors is not well known. To justify the long-term impacts of *in ovo* supplementation and its financial advantages for the poultry industry, further research is necessary.





Materials And Methods

Experimental Site

The research was conducted in a reputable hatchery at Oluyole Industrial Estate Ibadan, Oyo State and Kwara State University Teaching and Research Farm Malete, Moro Local Government Area, Kwara State, Nigeria.

Materials

Source and Processing of experimental tomato extract

Fresh tomatoes were obtained from Malete market were washed and cleaned to remove debris. After which the tomato fruits were cut into smaller sizes to ensure easy blend. After blending using a Binatone heavy duty blender, the tomato slurry was then heated at 100°C to ensure the proper drying for the formation of tomato paste. The paste was sieved using a cheese cloth to drain out water and then left undisturbed to ensure water drain was complete. The tomato paste was stored at 4°C till use.

Methods

Extraction of lycopene from tomato paste

The method involved the simple application of organic solvent to the samples as adopted by Roldan-Gutierrez *et al.* (2007). 50g of tomato paste was extracted using 500 ml of solvent hexane and acetone in the ratio 75:25 respectively using a DLAB SK-0330-Pro orbital shaker at 250 rpm (revolution per minute) for 12 hours. Extract was then filtered with Whatman No 5 filter paper. Solvent from the extract was separated at 50°C using a STUART RE300DB water bath and rotary evaporator, leaving behind the tomato extract which was then stored at 4°C until use.

In ovo injection procedure

Out of the set fertile eggs, 240 were selected and hatched at Oluyole Industrial Hatchery, Ibadan, Oyo State. The *in ovo* injection took place at a reputable hatchery at Broncho, Oluyole Ibadan Oyo state. The 240-fertile eggs used for this research were selected after the 18th day candling and the eggs were grouped into 5 treatments (48 per treatment).

- Treatment 1 control (T1) - 0mls of saline water- (SW) (no injection)
- Treatment 2 (T2) - 30mls of saline water in 0.5mls/egg
- Treatment 3 (T3) - 0.125mg of ToE in 0.5mls of SW/egg
- Treatment 4 (T4) - 0.25mg of ToE in 0.5mls of SW/egg
- Treatment 5 (T5) - 0.25mg of Vitamin C in 0.5mls of SW/egg

The eggs were disinfected with alcohol and cotton wool before the injection commenced to remove any possible contaminant. A tiny puncture was made at the apex of each egg air cell using a 2mls syringe and needle. Immediately after the injection the punctured area was sealed using a sterile sealant and the eggs were returned into the incubator. The chicks were collected on day 21 after hatching and synthetic 5-color identifiers were manually applied on the down feathers of the chick on a one-color per treatment basis, to differentiate each treatment. The chicks were then transported to the Poultry Unit of the Kwara State University Teaching and Research Farm, Malete under a cool temperature to avoid external stress.

Management of Experimental Birds

The brooding pen was cleaned, disinfected and prepared upon arrival of the chicks. Heat was supplied adequately, and vaccination was done weekly. A digital hygrometer was placed in the brooding pen to take record of the daily maximum and minimum relative humidity and temperature.

Feeding of Experimental Animal

The experimental diet given to the bird are as below;

Table 1: Formulated feed ingredients fed to the experimental birds during the experiment.

Ingredients	Percentage %
Maize	58.50
Soybean meal	34.50
Lysine	0.20
DL-Methionine	0.24
Toxin binder	0.10
Avatec	0.07
Enzymes	0.05
Salt	0.34
Limestone	0.80
DCP	2.60
Palm oil	2.20
Broiler premix	0.40
Total	100





Data Collection

Blood collection

On day fifty-six of the experiment, 5 ml of blood was collected from the jugular vein of 3 randomly selected birds per replicate in plain bottles. The samples were kept in an air-tight container with crushed ice till they were transported to the laboratory for serum biochemical evaluation. The blood samples were then centrifuged, and serum was separated and stored at -20°C until assayed for measuring albumin, globulin, total bilirubin, total protein and other relevant parameters.

Organ Weights

On day fifty-six, two chicks whose body weights were similar to the group average were selected from each pen and slaughtered by severing the carotid artery and jugular veins. Carcass weight measurements were done after defeathering. heads, necks, and feet were removed from the birds. The weights of internal organs were expressed as a percentage of live body weight.

Results And Discussion

The phytochemical analysis of the tomato sample used in this experiment is as revealed in Table 1. Observation shows that the tomato powder contains flavonoid, carotenoid, lycopene and Beta carotene. The flavonoid value ranged from 33.33-33.59 mg/100g, total carotenoid is 8.70- 8.77mg/g, lycopene; 555.36-561.60mg/g and beta carotene ; 23.74-23.70 mg/100 g respectively. Table 2 shows the relative organ weights of broilers given *in ovo* injection of lycopene at varying concentrations. The organs evaluated were spleen, liver, kidney, gizzard, gastro Intestinal Tract (GIT), heart, Lungs, and adrenal gland. It was observed that significantly ($p>0.05$) highest relative organ weight values of the kidney and GIT recorded in T2 had statistical ($p>0.05$) similarity with the control group values for kidney, and with T5 for GIT respectively and the significantly ($p>0.05$) lowest value for GIT was recorded in T3. All other organs evaluated were not significantly ($p>0.05$) influenced by the experimental injection.

Table 1: Phytochemical analysis of the tomato sample used in this experiment

Tomato Samples	Flavonoid (mg/100g)	T. Carotenoid mg/g	Lycopene mg/g	Beta Carotene mg/100g
1	33.58974	8.768	555.36	23.7432
2	33.33333	8.704	561.6	23.7008
Average	33.46	8.74	548.98	23.72

Table 2 shows an array of relative organs weights evaluated in the experimental animals including the spleen, liver, kidney, gizzard, gastro intestinal tract (GIT), heart, lungs, Adrenal gland. The kidney and GIT weights were significantly ($p>0.05$) raised in T1 (control) with a resultant lowered value across other treatments, except for T4 which had elevated values in GIT. The relative lung weight was significantly ($p>0.05$) increased in T3 and decreased across all other treatments. All other evaluated organs were not significantly ($p>0.05$) influenced by experimental inclusion.

Table 2: Relative Organ Weights of heat-stressed birds given *in ovo* injection of lycopene and Vitamin C

Relative Organ Weight	Control (T1)	0.5mls of Saline Water/egg (T2)	0.125mg Lycopene in 0.5mls water per/egg (T3)	0.25mg Lycopene in 0.5mls water per/egg (T4)	0.25mg Vit C in 0.5mls water per/egg (T5)	SEM
Spleen	0.086	0.108	0.111	0.110	0.116	0.018
Liver	2.361	2.368	2.435	2.219	2.049	0.117
Kidney	0.487 ^a	0.353 ^b	0.249 ^c	0.256 ^c	0.238 ^c	0.0186
Gizzard	4.846	4.389	4.584	5.243	5.425	0.325
Git	14.058 ^a	12.090 ^{bc}	11.418 ^c	14.012 ^a	13.426 ^b	0.360
Heart	0.452	0.534	0.514	0.451	0.492	0.022
Lungs	0.002 ^c	0.359 ^{ab}	0.430 ^a	0.118 ^{bc}	0.0717 ^c	0.170
Ad Gl	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0

SW; Saline Water, Vit C: Vitamin C: GIT: Gastrointestinal Tract ; T – Treatment ; Ad Gl- Arenal Gland.

Table 3 shows the Serum biochemical analysis response of broilers given *in ovo* injection of lycopene at varying concentrations. Observation shows that there was no significant effect of ToE injection across the treatments for the Albumin (g/dl), alanine phosphatase, ALP Alanine amino transferase (AST) and total protein.





In contrast to this, serum blood urea nitrogen (BUN), ALP, AST, and Potassium were significantly influenced ($p>0.05$). Results showed that BUN was significantly elevated in T3 and T5 with a concomitant depression in T4. The serum ALP was significantly ($p>0.05$) raised in T1 and decreased in T2 and T4 in the present research. AST values were significantly ($p>0.05$) increased at T4 and T5 similar to the control and T2 value also decreased. The potassium value showed significantly ($p>0.05$) low at T1 and T4 but high across other treatments.

Table 3 -Effect of *in ovo* injection of ToE on serum biochemical indices of broiler chickens

Parameters	Control (no injection) (T1)	Sterile water (0.5ml) (T2)	Lyc (0.125mg/0.5ml Sw) (T3)	Lyc. (0.25mg/0.5ml SW) (T4)	Vit.C 5mg/0.5mlSw) (T5)	SEM	S/L
BUN(mM/l)	15.2127 ^{ab}	15.354 ^{ab}	19.270 ^a	14.770 ^b	18.686 ^a	1.73	
Albumin (g/dl)	0.8325	1.1362	0.8836	1.0896	1.1804	0.11	NS
ALP (U/l)	183.54 ^a	136.99 ^b	159.47 ^{ab}	132.79 ^b	140.91 ^{ab}	40.58	
AST(U/l)	240.61 ^a	216.11 ^b	231.75 ^{ab}	241.58 ^a	248.07 ^a	16.74	
Total Protein (mg/dl)	3.2078	3.2977	3.3472	3.5567	3.4960	0.17	NS
ALT(U/l)	119.641	120.859	120.583	119.641	119.865	0.93	NS
TBIL (mg/dl)	2.2392	2.2626	2.2572	2.3455	2.4053	0.03	NS
Potassium(pm)	8.944 ^b	11.361 ^a	11.667 ^a	11.944 ^a	10.278 ^{ab}	1.61	

Discussion

Various compounds naturally present in dietary plants known as phytonutrients are significant secondary plant metabolites that are beneficial for animal health and production. They range from been antimicrobial, modulate immunity, improved animal overall health, reduce stress and boosted antioxidant enzymatic activities. Tomatoes have been documented to contain different types of carotenoids. Recent studies have suggested that carotenoids such as lycopene averts oxidative damage by ‘mopping up’ free radicals in livestock as antioxidants thereby protecting cellular components (Black et al., 2020; Collins et al., 2022). Flavonoids contains outstanding antimicrobial and antioxidant properties which secures livestock health and immunity. Bahramibanan et al., (2025) stated that the serum blood urea nitrogen (BUN) concentration in animals is used as a marker to determine kidney integrity, protein metabolism and overall health of animal. Herbal inclusions or injections has been detected to impact livestock’s BUN serum levels, often determined by a host of other factors such as herbal specie, dosage and specific innate characteristics of the animal. Supplemental inclusion of herbs can either depress or elevate BUN. Elevated BUN in T3 could result from the potential of ToE which favourably contribute to protein metabolism or protein turnover. This might have resulted into increased nutrient useage and easy digestibility in the treatment group. This finding agrees with the report of Redoy et al. (2020) who observed an increased BUN value after a dietary supplementation of sheep with plantain and/or garlic leaf. Furthermore, the comparable values of BUN noticed in T5 diet groups could be due to the Vitamin C supplementation. Although chickens can produce vitamin C, however, research has shown that during stress, innate vitamin C production may not meet up with the daily demand of the chickens. Therefore, an additional supplementation of vitamin C could enhance protein metabolism as a cofactor in collagen. This is in tandem with the documentation of Semsirbmoon et al. (2023) who reiterated this as stated above. The increased ALP observable in T1 could have resulted from the exposure of the chickens to heat stress without any remediation. This agrees with the observation of Tang et al. (2022), who recorded an increase in the serum concentration of liver enzymes injury biomarkers in broilers after their exposure to heat stress for 7 and 14 days respectively. As supported through the study conducted by Hu et al. (2020), heat stress causes programmed cell death or apoptosis, in any organ present in livestock, including the liver. Studies have shown that acute heat stress can increase the number of liver cells undergoing apoptosis. The decreased ALP value in T2 and T4, is also similarly observed in the decreased value of AST in the present research. This could have been an expression of the efficacy of *in ovo* injected tomato extract, which averted apoptosis and liver injury therefore the ALP was reduced. However, the reason for the elevated AST values is not very clear as at the time of writing this manuscript. Although in certain studies, conducted by Yang et al., (2023), tomato extract showed hepatoprotective ability. Although certain studies have reflected the AST-lowering capacity of tomato extract, while a few has shown its AST-increasing tendencies, when combined with other substances like isoniazid (INH). The potassium value was significantly low at T1 and T4, but high across other treatments. The elevated potassium levels observed in all treatment except T1 and T4 could have been because of tomato fruit’s notable viable source of potassium, which has been further concentrated through the processing of tomato fruit into paste in this study, which must have naturally boosted the serum potassium levels. Lu et al. (2022) authenticated the result stated in this study after reviewing the potassium concentration in processed tomato fruits with a significant amount of potassium up to 1220 mg per cup measurement. Organ weight is rated important in broiler chickens because it





mirrors their immune, growth rate, and nutritional status. It is germane in determining the effect of breed, diet and environment on the animal's overall performance and productivity. Elevated GIT in T4 could be due to the presence of the various phytonutrients introduced into the eggs during the in ovo injection of ToE. This could have improved the weight of the organs that made up GIT organs like thymus, duodenum, jejunum, liver, leading to a concomitant rise in GIT weight. This also include the elevated lungs. In relation to the report of Wu et al. (2024), inclusion of tomatoes has been shown to increase the weight of different organs of the GIT in livestock. The lowered values of the GIT noted in T2, T3 and T5 could have been due to non- injection of ToE into T2 only 0.5ml saline water, the low quantity of ToE T3 (Lyn 0.125 mg/0.5 ml of saline water (SW) and T5 0.125 mg Vitamin C/0.5 ml SW. After in ovo injection of ToE, Inclusion of oral or dietary ToE from week 3 of rearing would be recommended.

Declaration

The authors of this manuscript hereby declare that this manuscript have not be published elsewhere

Ethical Approval Certificate

The experimental procedures of this study were approved by the Institutional Research Ethics Committee in charge of management and use of research animals in Kwara State University, Malete, Kwara State, in accordance with the NIN guide for the management of laboratory animals with ethical approval number KWASU/CR&D/REA/2024/00101.

Author Contribution Statement

Olayinka Ojo -Investigation, Conceptualization, Project administration, supervision, conceptualization, methodology, and writing the original draft

Adenike Omolara Awoyinka- Data collection,Methodology

Moyinoluwa Orewale Onikeku- methodology, review and editing

Ademola Johnson Ajiboye Project administration, conceptualization, methodology, review

1Oluwatoyin Christianah Ogunmokun--Project administration, methodology, review and editing

Fund Statement

This work was funded by the authors

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest

Acknowledgments

The authors of this manuscripts acknowledge all contributors to this research.

References

- Abd El-Ghany, W. A. (2025). In Ovo Vaccination Technology: An Alternative Approach to Post-Hatch Vaccination in Modern Poultry Operations. *Microbiology Research*, 16(1), 7. <https://doi.org/10.3390/microbiolres16010007>
- Bahramibanan, F., Rad, M.V., & Ranjbar, A. (2025). Comparison of oxidative stress status in the kidney tissue of male rats treated with paraquat and nanoparaquat. *Scientific Reports* 15, 389. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-83156-2>
- Akosile, O.A., Festus, O.K., Aderanti, I.O., & Oyegunle, E.O. (2023). Potential Implication of in ovo Feeding of Phytogenics in Poultry Production, *Translational Animal Science*, 7 (1), 2023, txad094, <https://doi.org/10.1093/tas/txad094>
- Black, H.S., Boehm, F., Edge, R., & Truscott, T.G. (2020). The Benefits and Risks of Certain Dietary Carotenoids that Exhibit both Anti- and Pro-Oxidative Mechanisms-A Comprehensive Review. *Antioxidants (Basel)*. 2020 9(3):264. doi: 10.3390/antiox9030264.
- Carney, V.L., Anthony, N.B., Robinson, F.E., Reimer, B.L., Korver, D.R. M. J. Zuidhof, M., & Afrouzیه (2022). Evolution of maternal feed restriction practices over 60 years of selection for broiler productivity, *Poultry Science*, 101 (10), 2022, 101957, ISSN 0032-5791, <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101957>.
- Collins, E. J., Bowyer, C., Tsouza, A., & Chopra, M. (2022). Tomatoes: An Extensive Review of the Associated Health Impacts of Tomatoes and Factors That Can Affect Their Cultivation. *Biology*, 11(2) 2020.
- Geng, A.L., Zhang, Y., Zhang, J., Zeng, L.C., Chang, C., Wang, H.H., Yan, Z.X., Chu, Q., & Liu, H.G. (2021). Effects of light regime on the hatching performance, body development and serum biochemical indexes in Beijing You Chicken. *Poult Science* 2021 Aug;100(8):101270. doi: 10.1016/j.psj.2021.101270. Epub 2021 May 21.
- Hidayat, D.F., Mahendra, M.Y.N., Kamaludeen, J., & Pertiwi, H. (2023). Lycopene in Feed as Antioxidant and Immuno-Modulator Improves Broiler Chicken's Performance under Heat-Stress Conditions. *Veterinary Medicine International*. 2023 Jun 29;2023:5418081. doi: 10.1155/2023/5418081.
- Hu, W., Fang, M., Yang, Y., Ye, T., Liu, B., & Zheng, W. (2020). Detection of heat shock protein 27, 70, 90 expressions in primary parenchymatous organs of goats after transport stress by real-time PCR and ELISA. *Veterinary Medicine and Science*. 2020 Nov;6(4):788-795. doi: 10.1002/vms3.327.
- Givisiez, P.E.N., Moreira-Filho, A, L., Santos, M.R.B., Oliveira, H.B., Ferket, P.R., Oliveira, C.J.B., & Malheiros, R.D. (2020). Chicken embryo development: metabolic and morphological basis for in ovo feeding technology. *Poultry Science*. 2020 Dec;99(12):6774-6782. doi: 10.1016/j.psj.2020.09.074.
- Khan, U.M., Sevindik, M., Zarrabi, A., Nami, M., Ozdemir, B., Kaplan, D.N., Selamoglu, Z, Hasan, M., Kumar, M., Alshehri, M.M., & Sharifi-Rad, J. (2021). Lycopene: Food Sources, Biological Activities, and Human Health Benefits. *Oxidative Medicine and Cell Longevity*. 2021 Nov 19;2021:2713511. doi: 10.1155/2021/2713511.





- Kpomasse, C.C., Oke, O.E., Houndonougbo, F.M., & Tona, K. (2021). Broiler production challenges in the tropics: A review. *Vet Med Sci*. 2021 May;7(3):831-842. doi: 10.1002/vms3.435. Epub 2021 Feb 9. .
- Long, Y., Paengkoum, S., Lu, S., Niu, X., Thongpea, S., Taethaisong, N., Han, Y., & Paengkoum, P. (2024). Physicochemical properties, mechanism of action of lycopene and its application in poultry and ruminant production. *Frontiers in Veterinary Science*. 11:1364589. doi: 10.3389/fvets.2024.1364589
- Lu, S., Chen, S., Li, H., Paengkoum, S., Taethaisong, N., Meethip, W., Surakhunthod, J., Sinpru, B., Sroichak, T., Archa, P., Thongpea, S., Paengkoum, P. (2022) Sustainable Valorization of Tomato Pomace (*Lycopersicon esculentum*) in Animal Nutrition: A Review. *Animals (Basel)*. 2022 Nov 25;12(23):3294. doi: 10.3390/ani12233294.
- Lukasiewicz, M. M., Kotuszevska, M., Puppel, K., Madras., & Majewska, B. (2024). Effects of In Ovo Taurine Injection on Embryo Development, Antioxidant Status, and Bioactive Peptide Content in Chicken Embryos (*Gallus gallus domesticus*). *International Journal of Molecular Science*. 2024 Nov 2;25(21):11783. doi: 10.3390/ijms252111783.
- Mousstaaid, A., Fatemi, S.A., Elliott, K.E.C., Levy, A.W., Miller, W.W., Gerard, P.D., Alqhtani, A.H., & Peebles, E.D. (2022). Effects of the In Ovo and Dietary Supplementation of L-Ascorbic Acid on the Growth Performance, Inflammatory Response, and Eye L-Ascorbic Acid Concentrations in Ross 708 Broiler Chickens. *Animals (Basel)*. 2022 Sep 27;12(19):2573. doi: 10.3390/ani12192573.
- Natali, P.G., Piantelli, M., Sottini, A., Eufemi, M., Banfi, C., & Imberti L. (2025). A step forward in enhancing the health-promoting properties of whole tomato as a functional food to lower the impact of non-communicable diseases. *Frontiers in Nutrition*. 12:1519905. doi: 10.3389/fnut.2025.1519905
- Pius, L.O., Strausz, P., & Kusza, S. (2022). Overview of Poultry Management as a Key Factor for Solving Food and Nutritional Security with a Special Focus on Chicken Breeding in East African Countries. *Biology (Basel)*. 2021 Aug 20;10(8):810. doi: 10.3390/biology10080810.
- Roldán-Gutiérrez, J.M., Dolores., & Luque de Castro, M. (2007). Lycopene: The need for better methods for characterization and determination. *Trends in Analytical Chemistry*. 2007, 26, 163–170.
- Redoy, M.R., Shuvo, A. A.A., Cheng, S. L., & Al-Mamun, M. (2020). Effect of herbal supplementation on growth, immunity, rumen histology, serum antioxidants and meat quality of sheep, *Animal*, 14(11),2020, Pages 2433-2441,ISSN 1751-7311,https://doi.org/10.1017/S1751731120001196.
- Saeed, M., Babazadeh, D., Naveed, M., Alagawany, M., Abd El-Hack, M. E., Arain, M. A., & Chao, S. (2019). In ovo delivery of various biological supplements, vaccines and drugs in poultry: current knowledge. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(8), 3727-3739.
- Semsirboon, S., Do Nguyen, D.K., Chaiyabutr, N., Poonyachoti, S., Lutz, T.A., & Thammacharoen, S. (2023). High Dietary Cation and Anion Difference and High-Dose Ascorbic Acid Modify Acid-Base and Antioxidant Balance in Dairy Goats Fed under Tropical Conditions. *Animals (Basel)*. 2023 Mar 7;13(6):970. doi: 10.3390/ani13060970.
- Tang, Z., Jin, Y., Brown, P.H., & Park, M. (2023) Estimation of tomato water status with photochemical reflectance index and machine learning: Assessment from proximal sensors and UAV imagery. *Frontiers of Plant Science*. 2023 Apr 6;14:1057733. doi: 10.3389/fpls.2023.1057733.
- Yalcin, S., Özkan, S., & Shah, T. (2022). Incubation Temperature and Lighting: Effect on Embryonic Development, Post-Hatch Growth, and Adaptive Response. *Frontiers in Physiology*. 2022 May 13;13:899977. doi: 10.3389/fphys.2022.899977.
- Wu, H., Wang, S., Xie, J., Ji, F., Peng, W., Qian, J., Shen, Q., & Hou, G. (2024). Effects of Dietary Lycopene on the Growth Performance, Antioxidant Capacity, Meat Quality, Intestine Histomorphology, and Cecal Microbiota in Broiler Chickens. *Animals (Basel)*. 2024 Jan 8;14(2):203. doi: 10.3390/ani14020203.
- Wang, Y.H., Zhang, R., Yin, Y., Tan, G.F., Wang, G.L., Liu, H., Zhuang, J., Zhang, J., Zhuang, F.Y., Xiong, A.S. (2023). Advances in Engineering the Production of the Natural Red Pigment Lycopene: A Systematic Review from a Biotechnology Perspective. *Journal of Advanced Research*. 2023;46:31–47. doi: 10.1016/j.jare.2022.06.010.
- Yang, Z., Zhang, L., Liu, J., Chan, A.S.C., & Li, D. (2023). Saponins of Tomato Extract Improve Non-Alcoholic Fatty Liver Disease by Regulating Oxidative Stress and Lipid Homeostasis. *Antioxidants (Basel)*. 2023 Oct 12;12(10):1848. doi: 10.3390/antiox12101848.





Combined In-Vitro and In-Silico Evaluation of Bioactive Phytochemicals from *Curcuma longa* (Linn.) Against Multidrug-Resistant *Enterobacter cloacae*: Insights into Antibacterial and Antibiofilm Potential

Nisar Ali¹

¹Mphil Scholar at University of swat, Pakistan

Abstract

Enterobacter cloacae exhibit significant antibiotic resistance, posing a major challenge to existing therapeutic options. In the present study, *Curcuma longa* extracts were evaluated for their antibacterial and antibiofilm activities using both in vitro and in silico approaches. The in vitro assays demonstrated that methanolic and ethanolic extracts exhibited the highest antibacterial potential, showing maximum zones of inhibition of 12 ± 0.25 mm and 8 ± 0.30 mm, respectively, against *E. cloacae*. Biofilm inhibition assays indicated a moderate disruption of preformed bacterial biofilms. In the in-silico analysis, molecular docking revealed that curcumin exhibited the strongest binding affinity (-8.4 kcal/mol) with β -lactamase (AmpC), followed by demethoxycurcumin (-7.8 kcal/mol) with DNA gyrase, and bisdemethoxycurcumin (-7.7 kcal/mol) with the cyclic di-GMP regulatory protein of *E. cloacae*. The docking models were validated by favourable ProSA Z-scores (-8.86 to -10) and ERRAT quality factors ($>80\%$), confirming the reliability of the predicted protein-ligand interactions. Toxicity prediction analysis indicated that all tested compounds were non-mutagenic, non-carcinogenic, and exhibited safe LD₅₀ ranges, suggesting a high safety profile. Collectively, these findings highlight the potential of *Curcuma longa*-derived phytochemicals as effective and safe therapeutic candidates for combating multidrug-resistant *Enterobacter cloacae* infections.

Key Words: *Curcuma longa*, *Enterobacter cloacae*, Antibacterial activity, Biofilm inhibition, Molecular docking





Conversion of Various Agricultural Feedstocks to Biochar under Different Pyrolytic Temperatures

Ammal Abukari¹

¹Department of Forestry and Forest Resources Management, Faculty of Natural Resources and Environment, University for Development Studies, Tamale, Ghana

Abstract

Globally, biochar is utilized as a soil amendment technology to enhance carbon storage and to improve soil functioning. However, biochar characteristics and related improvements of soil functioning depend on biochar production conditions. This study assessed the physical and chemical properties of biochars produced from rice husk, maize cob, groundnut husk and cassia tree residues at pyrolysis temperatures of 400, 600, and 800 °C. The physical and chemical properties of biochars were determined. This included bulk density, porosity, water holding capacity, moisture content and organic carbon, organic matter, pH, electrical conductivity (EC), magnesium, sulfur, sodium, calcium, total nitrogen, potassium and phosphorus respectively. The findings from the study reveal that increasing pyrolysis temperature decreased biochar yield, and the values of the analyzed properties varied depending on the type of biochar and pyrolysis temperature. The water holding capacity (WHC) significantly increased with increasing pyrolysis temperature. Increasing the pyrolysis from 400 to 800 °C increased the water holding capacity from 13.46 to 24.65, 21.33 to 25.66, 25.59 to 28.56, and 21.86 to 25.83 g water/g dry for rice husk, maize cob, groundnut husk and cassia tree residues, respectively. The maize cob biochar produced at a pyrolysis temperature of 800 °C obtained highest value of bulk density (241.59 kg/m³). The porosity values of biochars ranged from 48.07 to 66.74%. The cassia tree residues biochars produced at 800 °C recorded the highest values of pH and EC (10.8 and 3.62 dS/m). Total carbon, total organic matter and total nitrogen ranged from 40.70 to 60.60%, 64.24 to 100.6%, and 0.3 to 2.4% respectively. The groundnut husk biochar produced at 800 °C recorded the highest values of phosphorus (137.4 mg/kg) and calcium content (653.3 mg/kg). The sulfur, sodium and magnesium content ranged from 1234-13263, 1032-1695 and 13.2-54.3 mg/kg respectively. The study highlights that biochar properties are significantly influenced by feedstock type and pyrolysis temperature, suggesting that optimizing these factors can enhance biochar's effectiveness as a soil amendment for improving soil fertility and structure, contributing to SDG 2 and 15 by promoting sustainable agriculture and ecosystem conservation.

Key Words: Pyrolysis temperature, biochar, feedstock, yield, soil amendment, physicochemical properties





Botulism in Ruminant Nutrition

Hatice Nur KILIÇ ÖZEL^{1*}, Mustafa BOĞA²

¹Niğde Ömer Halisdemir University, Ulukışla Vocational School, Department of Forestry, 51900, Niğde, Turkey.

² Niğde Ömer Halisdemir University, Bor Vocational School, Department of Food Processing, 51700, Niğde, Turkey.

Abstract

Botulism is a fatal zoonotic disease caused by neurotoxins secreted by *Clostridium botulinum*, a spore-forming gram-positive anaerobic bacterium. In ruminant animal feeding, infection occurs primarily through contaminated feed, while environmental sources such as soil, water, and manure also play an important role in transmission pathways. *C. botulinum* neurotoxins block acetylcholine release at the neuromuscular junction, leading to progressive muscle paralysis and a clinical presentation characterized by high mortality rates. This situation leads to irreparable economic losses and severe declines in production capacity in the global livestock sector. Due to the limited efficacy of treatment options for the disease and their adverse effect on prognosis, prophylactic approaches aimed at eliminating infection sources have strategic priority in control strategies. Silage, dry feeds, animal-derived feed additives, and manure contamination used in ruminant feeding are identified as the main risk factors. Particularly in silage production processes, insufficient anaerobic fermentation, failure to achieve optimal pH range, and improper storage conditions create favorable microenvironments of critical importance for the germination of *C. botulinum* spores and toxin production. This review study aims to systematically and holistically evaluate etiological factors, molecular pathogenesis mechanisms, epidemiological transmission routes, and evidence-based control strategies of botulism infection in ruminant animal feeding. Considering the ongoing economic losses and public health risks in the livestock industry in Turkey and worldwide, there is an urgent need for multidisciplinary research on botulism pathogenesis, diagnostic methods, and prevention strategies, and this review is expected to provide a conceptual foundation and applied perspective to such scientific studies.

Key Words: *Botulinum, Clostridium Botulinum, Ruminant Animal Feeding*

Ruminant Hayvan Beslemede Botulismus

Özet

Botulismus, spor oluşturan gram pozitif anaerobik bir bakteri olan *Clostridium botulinum*'un salgıladığı nörotoksinlerden kaynaklanan ölümcül bir zoonoz hastalığıdır. Ruminant hayvan beslemede enfeksiyon, öncelikli olarak kontamine yemler aracılığıyla meydana gelmekle birlikte, toprak, su ve gübre gibi çevresel kaynaklar da bulaşma yolları arasında önemli rol oynamaktadır. *C. botulinum* nörotoksinleri, nöromüsküler kavşakta asetilkolin salınımını bloke ederek ilerleyici kas felcine yol açmakta ve yüksek mortalite oranıyla seyreden klinik tabloya neden olmaktadır. Bu durum, küresel hayvancılık sektöründe telafisi güç ekonomik kayıplara ve üretim kapasitesinde ciddi düşüşlere yol açmaktadır. Hastalığın tedavi seçeneklerinin sınırlı etkinlik göstermesi ve prognozu olumsuz etkilemesi nedeniyle, kontrol stratejilerinde enfeksiyon kaynaklarının elimine edilmesine yönelik profilaktik yaklaşımlar stratejik öncelik taşımaktadır. Ruminant beslemede kullanılan silaj, kuru yemler, hayvansal kaynaklı yem katkıları ve gübre kontaminasyonu başlıca risk faktörleri olarak tanımlanmaktadır. Özellikle silaj üretim süreçlerinde yetersiz anaerobik fermentasyon, optimal pH aralığının sağlanamaması ve hatalı depolama koşulları, *C. botulinum* sporlarının çimlenmesi ve toksin üretimi için kritik öneme sahip elverişli mikroçevre oluşturmaktadır. Bu derleme çalışması, ruminant hayvan beslemede botulismus enfeksiyonunun etyolojik faktörlerini, moleküler patogeneze mekanizmalarını, epidemiyolojik bulaşma yollarını ve kanıta dayalı kontrol stratejilerini sistematik ve bütüncül bir yaklaşımla değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Türkiye'de ve dünya genelinde hayvancılık endüstrisinde süregelen ekonomik kayıplar ve halk sağlığı riskleri göz önüne alındığında, botulismus patogenezi, tanı yöntemleri ve önleme stratejilerine yönelik multidisipliner araştırmalara acil gereksinim bulunmakta olup, bu derlemenin söz konusu bilimsel çalışmalara kavramsal temel ve uygulamalı bir perspektif sunması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Botulismus, Clostridium Botulinum, Ruminant Hayvan Besleme*





Giriş

Botulismus, dünyada sporadik olarak gözlenen *Clostridium botulinum* adlı spor oluşturan gram pozitif, anaerobik bakterilerin salgıladığı toksinlerin (nörotoksinler) toprak, su ve çürüyen organik maddelerin alınmasıyla meydana gelen ve sinirsel semptomlarla karakterize bir hastalıktır (Böhnel & Gessler, 2005a; Zeiller vd., 2015). Doğada yaygın olarak bulunan bu bakteri, farklı toksin tipleri (A, B, C1, D, E, F ve G) üretebilmektedir (Böhnel & Gessler, 2005a). Sığırlarda en sık görülen suşlar ise, C ve D tipleridir (Koç & Aydın Vural, 2019). Bakteriler; uygun sıcaklık, pH (4.5), su aktivitesi (0.952-0.971) ve besin kaynağı koşullarında çoğalarak, güçlü sinir sistemi paralizisine neden olan botulin toksini üretirler (Zeiller vd., 2015; Koç & Aydın Vural, 2019). Sığırlar bu bakterileri toksinlerin bulaşık olduğu su ve yemlerden alabileceği gibi, meralarda otlarken karşılaştıkları *Clostridium botulinum* ile bulaşık kadavra ve kemikleri yiyerek de toksinleri alabilmektedirler.

Clostridium botulinum, botulinum nörotoksininin ana üreticisidir. Nörotoksinler, nöromusküler kavşaktaki asetilkolin salınımını engelleyerek sinir hücrelerine zarar vermekte dolayısıyla, sinir sisteminin normal işlevini bozmaktadır (Erbguth, 2004). Bu toksik maddeler, sodyum ve kalsiyum kanallarının işlevini engelleyerek, reseptörleri bloke ederek veya nörotransmitterlerin salınımını ve geri emilimini engelleyerek etkilerini gösterirler (Blakely & Sonders, 1994). Nörotoksin kaynaklı zehirlenmeler, nörolojik semptomlara (bilinç değişiklikleri, felç, konvülsiyonlar, solunum güçlüğü gibi) neden olabilir. Botulinum nörotoksin çeşitli bitki, hayvan ve mantarlar üretebilmektedir (Daisley & Ogunkanmi, 2021). Botulinum nörotoksini, oral yoldan alındığında en tehlikeli etkilerini gösterir. Gıda kaynaklı botulizm vakalarında bu toksinin yutulması sonucu ölümcül sağlık sorunları ortaya çıkabilir (Trokhymchuk vd., 2019; Loftin & McCleskey, 2020).

Hayvan yemlerinde *Clostridium botulinum*'un başlıca kaynakları ve giderim yöntemleri

Clostridium botulinum ruminant hayvanlarda mortalite oranını artıran önemli bir hastalık olan botulismusa neden olduğu için hayvan yemlerinde önem teşkil etmektedir. Hayvan yemlerinde başlıca kaynakları ise; silaj, kuru yemler, köy tipi hayvan gübreleri, et ve kemik unu, balık unu yer almaktadır. Bununla birlikte *clostridium botulinum* kontaminasyonunun önlenmesi için yem üretimi, hasatı ve depolama koşullarına özen gösterilmesi gerekmektedir.

Anaerobik fermentasyonla gerçekleşen silaj yapımında pH, nem ve sıcaklık koşullarının uygun olmaması durumunda *clostridium botulinum* sporları çimlenerek nörotoksin üretebilmektedirler (Galey vd., 1987). Yeterli sanitasyon olmaması durumunda toprakta bulunan *clostridium botulinum* sporları kuru yemlere geçebilmektedir (Graham vd., 1997). Bununla birlikte, *clostridium botulinum* sporlarının üremesi için et, kemik ve balık unu uygun ortama sahip olmaktadır (Dezfulian & Bartlett, 1985; Svensson vd., 2008). Çiftliklerde biriken hayvansal atıklarda gelişen *Clostridium botulinum*, gübre ile bulaşarak yem hammaddelerine geçebilir (Schoenbaum vd., 2000).

Silajlarda *Clostridium botulinum*

Silajların yanlış yapım ve saklanma aşamasında *Clostridium botulinum* toksini yaygın olarak bulunmaktadır. Silajların depolama sırasında hava girişinin olması *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve toksin üretimini artırabilmektedir (Graham vd., 1997).

Silajlarda *Clostridium botulinum* sporlarının bulunma nedenleri ise;

- Bitki Materyali Kontaminasyonu: Toprakta doğal olarak bulunan *Clostridium botulinum* sporları, bitkiler tarafından kökler ve yapraklar aracılığıyla alınabilir (Dodds, 1993). Hasat sırasında, toprak ve toz parçacıklarıyla birlikte sporlar da bitki materyaline geçebilir.
- Uygun Olmayan Silaj Hazırlama Koşulları: Silajlama işlemi sırasında, oksijenin yetersiz olması, anaerobik koşulların oluşmasına neden olur (Huss, 1980). Bu anaerobik koşullar, *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve üremesini teşvik eder.
- Yetersiz Asitleşme: Silaj hazırlanması sırasında, ortamın yeterince asidik hale gelmemesi (pH>4,5), *Clostridium botulinum* türleri için uygun bir ortam oluşturur (Lund, 1990). Uygun fermentasyon ve asit oluşumu sağlanmazsa, sporlar çimlenerek üreme gösterebilir.
- Kontamine Ekipmanlar: Silaj hazırlama, doldurma, sıkıştırma ve depolama ekipmanları, önceki kullanımlarda sporlarla bulaşmış olabilir. Bu ekipmanlar yeterince temizlenmez ve dezenfekte edilmezse, yeni hazırlanan silaja sporlar aktarılabilir.
- Yetersiz Fermentasyon: Hızlı ve uygun fermentasyon sağlanmazsa, ortam *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesine ve üremesine elverişli hale gelir (Montville & Matthews, 2008). Fermentasyonun gecikmesi veya yetersiz kalması, bu bakterilerin gelişimine izin verebilir.

Sonuç olarak, bitki materyalindeki kontaminasyon, uygun olmayan silaj hazırlama koşulları, yetersiz asitleşme, kontamine ekipmanlar ve yetersiz fermentasyon, silajlarda *Clostridium botulinum* sporlarının bulunma nedenlerini oluşturur. Bu risklerin kontrol altına alınması kritik önem taşımaktadır.





Clostridium botulinum gelişimini engellemek için silaj yapım ve depolama aşamalarında uygun teknik ve hijyene dikkat edilmesi gerekmektedir. *Clostridium botulinum*'un silajlarda gelişimini engellemek için aşağıdaki önleme yöntemleri uygulanabilir:

- Silolama Tekniklerinin Uygun Olması:
- Silajın uygun nem içeriğinde hazırlanması (%60-70),
- Sıkı ve homojen bir şekilde sıkıştırılması, Silaj kütlesi 200-250 kg/m³ yoğunlukta sıkıştırılmalıdır. Bu, anaerobik koşullar oluşturarak *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini engeller (Kung Jr & Shaver, 2001).
- Hava girmeyecek şekilde kapatılması ve sızdırmazlığın sağlanması,
- Uygun pH seviyesine hızlı şekilde ulaşılması (4,5 veya daha düşük) önemlidir (Davies vd., 1998). İyi bir fermentasyon sonucu pH 3,8-4,2 arasında olmalıdır (McDonald vd., 1991).
- Katkı Maddelerinin Kullanımı: Silolamada laktik asit bakterileri, propiyonik asit veya formaldehit gibi katkı maddeleri uygulanması, *Clostridium botulinum* gelişimini inhibe edebilir (Driehuis & Oude Elferink, 2000). Laktik asit üretimi yetersiz olduğunda, *Clostridium botulinum* sporları çimlenir ve toksin oluşturur. İdeal laktik asit içeriği %6-8 aralığındadır (Driehuis & Oude Elferink, 2000).
- Anaerobik Depolama Koşullarının Sağlanması: Silaj çukurlarında oksijen girişini engelleyecek sızdırmaz kapakların kullanılması ve siloların düzenli olarak izlenmesi, *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini önler (Whitlock vd., 1986).
- Silaj Kalitesinin Düzenli Kontrolü: Silaj pH'sı, kuru madde içeriği ve olası küf oluşumu gibi parametrelerin periyodik kontrolleri, *Clostridium botulinum* riskinin erken saptanmasını sağlar (Graham vd., 1997).
- Hasat Sonrası Hijyen: Silaj hazırlık alanlarının ve ekipmanlarının uygun şekilde temizliği ve dezenfeksiyonu, bakteriyel kontaminasyonun önüne geçer.
- Fermentasyon Süresi: Silaj, en az 3-4 hafta süreyle anaerobik koşullarda bekletilmelidir. Bu süre, *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesi ve toksin üretimi için yeterli olmayacaktır (McDonald vd., 1991).
- Bitki Materyalinin Hasat ve Taşınması: Bitki materyalinin topraktan/toz parçacıklarından kontaminasyonunu önlemek için dikkatli hasat ve temiz taşıma ekipmanları kullanılmalıdır (Pahlow vd., 2003).

Mısır, nemi ve karbonhidrat içeriği yüksek bir yem bitkisidir. Yeterli anaerobik koşullar ve uygun pH sağlanamadığında, *Clostridium botulinum* sporları çimlenerek vejetatif hücrelere dönüşür ve nörotoksin üretir (Whitlock vd., 1986). *Clostridium botulinum* toksini, özellikle mısır silajlarında sıklıkla bulunur. Mısır silajları, *Clostridium botulinum* sporları için uygun bir üreme ortamı sağlar ve oksijensiz fermentasyon koşullarında bu bakterinin toksin üretmesine olanak tanır (Lindström vd., 2010). Silolama sırasında uygulanan yanlış teknikler, havalandırma veya sıkıştırma eksiklikleri, yeterli asitleme olmaması gibi faktörler, mısır silajlarında *Clostridium botulinum* gelişimi için elverişli koşullar yaratabilir (Galey vd., 1987).

Kuru Yapraklı Yemlerde *Clostridium botulinum*

Clostridium botulinum sporları, özellikle kuru yapraklı yemler olan kuru ot ve saman gibi ürünlerde sıklıkla bulunur. Bu tür kuru yemlerin toprakla temas etmesi, *Clostridium botulinum* sporlarının bulaşmasına neden olabilir (Böhnel vd., 2001). Ayrıca, kuru yapraklı yemlerin hasat, işleme ve depolama sırasındaki hijyen koşullarındaki eksiklikler, *Clostridium botulinum* sporlarının bu ürünlerde canlı kalmasına ve üremesine olanak sağlar (Galey vd., 1987; Graham vd., 1997). Özellikle, kuru yemlerin nemli ve oksijensiz ortamlarda depolanması, *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesine ve toksin oluşumuna zemin hazırlar (Whitlock vd., 1986).

Kuru yapraklı yemlerde *Clostridium botulinum* sporlarının bulunma nedenleri ise;

- Bitki Kaynaklı Kontaminasyon:
- Toprakta doğal olarak bulunan *Clostridium botulinum* sporları, bitkiler aracılığıyla kuru yapraklı yemlere geçebilir (Dodds, 1993).
- Bitkiler, kökleri ve yaprakları ile topraktan bu sporları bünyelerine alabilirler.
- Hasat, kurutma ve depolama sırasındaki işlemler de, sporların yeme bulaşmasına yol açabilir.
- Hayvansal Kontaminasyon:
- Kuru yapraklı yemlerin işlenmesinde kullanılan ekipmanlar, daha önce kontamine olmuş hayvan gübresi, toprak gibi materyallerle temas edebilir.
- Bu şekilde, hayvanların bağırsak sistemindeki *Clostridium botulinum* sporları, yemlere bulaşabilir (Huss, 1980). Özellikle ruminant hayvanların sindirimi sırasında sporların çoğalması, kuru yapraklı yemlerin kontaminasyonuna neden olabilir.





- Yetersiz Hijyen ve Uygun Olmayan İşleme:
- Kuru yapraklı yem üretimi, kurutma, depolama ve taşıma aşamalarındaki hijyen eksiklikleri, *Clostridium botulinum* sporlarının ürüne geçmesine yol açabilir (Lund, 1990).
- Yeterli ısı işlem uygulanmaması, sporların canlı kalmasına ve ürüne karışmasına neden olur (Montville & Matthews, 2008).
- Uygun olmayan depolama koşulları da sporların çoğalmasına ve yayılmasına imkân tanır.

Sonuç olarak, bitki ve hayvan kaynaklı kontaminasyon, yetersiz hijyen ve uygun olmayan işleme, kuru yapraklı yemlerde *Clostridium botulinum* sporlarının bulunma nedenlerindendir. Gerekli önlemlerin alınması, bu bakterilerin kontrolünü sağlayacaktır.

Kuru yapraklı yemlerde *Clostridium botulinum* sporlarının oluşumunu ve toksin üretimini engellemek için aşağıdaki önleme yöntemleri uygulanabilir:

- Hasat Öncesi Önlemler:
- Yem bitkilerinin hasat öncesinde, toprak ve dışkı kontaminasyonundan arındırılması,
- Hasat sırasında toprak ve toz oluşumunu en aza indiren yöntemlerin kullanılması (Böhnel vd., 2001).
- Hasat Sonrası Önlemler:
- Yemlerin hızlı bir şekilde kurutulması ve uygun nem içeriğine getirilmesi,
- Kuru yapraklı yemlerin sıkı bir şekilde paketlenmesi ve depolanması,
- Depolama alanlarındaki sıcaklık, nem ve havalandırmanın kontrol altında tutulması (Galey vd., 1987).
- Depolama ve Kullanım Sırasında Önlemler:
- Kuru yapraklı yemlerin uygun sıcaklık ve nem koşullarında depolanması,
- Depolanmış kuru yapraklı yemlerin düzenli olarak kontrol edilmesi,
- Uzun süreli depolanmış kuru yapraklı yemlerin kullanımından önce test edilmesi (Graham vd., 1997).
- Düşük nem içeriği: Kuru yemlerin nem oranı %12-15 aralığında olmalıdır (Juneja vd., 2019).
- Düşük su aktivitesi (aw): Kuru yemlerin su aktivitesi (aw) 0,90'ın veya %12'nin altında olmalıdır (Juneja vd., 2019). Düşük aw değeri, *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve toksin üretimini engeller.
- Düşük pH: Kuru yemlerin pH değeri 4,6'nın altında olması tercih edilir (Juneja vd., 2019). Asidik pH, *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve gelişimini baskılar.
- Isıl işlem: Kuru yemlerin üretim aşamasında uygulanan ısı işlemleri (pişirme, ekstrüzyon gibi), *Clostridium botulinum* sporlarını inaktive edebilir (Juneja vd., 2019).
- Antimikrobiyel katkı maddeleri: Bazı organik asitler (format, propiyonat, laktat) veya diğer antimikrobiyel katkı maddeleri, kuru yemlerde *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini inhibe edebilir (Juneja vd., 2019).
- Sıcaklık koşulları: Kuru yem depoları serin sıcaklıklarda, tercihan 10-15°C aralığında tutulmalıdır (Juneja vd., 2019). Düşük sıcaklıklar, *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve üremesini baskılayacaktır.
- Kontrollü atmosfer depolama: Oksijen seviyesinin düşük, karbondioksit seviyesinin yüksek tutulduğu kontrollü atmosfer ortamları, *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve üremesini engeller (Juneja vd., 2019). Bu yöntem, kurutulmuş yemlerde anaerobik koşulları sağlayarak toksin oluşumunu önler.
- Vakum paketlenme: Kuru yemlerin vakum paketlenmesi, paketdeki oksijen seviyesini azaltarak *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve toksin üretimini engeller (Juneja vd., 2019). Vakum paketlenme, depolama sırasında ürünün hava ile temasını da azaltır.
- Modifiye atmosfer paketlenme: Kuru yemlerin ambalajlanmasında, yüksek karbondioksit ve düşük oksijen içeren modifiye atmosferler kullanılabilir (Juneja vd., 2019). Bu ortam, *Clostridium botulinum* sporlarının gelişimini baskılar.
- Dondurma: Kuru yemlerin derin dondurucuda (-18°C veya daha düşük) depolanması, *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenme ve üremesini durdurur (Juneja vd., 2019). Donmuş koşullar, bu patojenin gelişimi için uygun koşulları ortadan kaldırır.

Clostridium botulinum sporlarının kuru yapraklı yemlerde oluşumunu ve toksin üretimini önlemek için, hasat öncesi, hasat sonrası, silaj yapımı ve depolama aşamalarında kapsamlı kontrol önlemlerinin uygulanması gereklidir.





Hayvan Gübrelerinde *Clostridium botulinum*

Clostridium botulinum sporları, özellikle köy tipi hayvan gübreleri olarak adlandırılan organik gübre türlerinde sıklıkla bulunur. Hayvanların sindirim sisteminde doğal olarak bulunan *Clostridium botulinum* bakterileri ve sporları hayvan dışkılarında yaygın olarak görülmektedir (Smith, 1977). Köy tipi hayvan gübreleri, genellikle çiftçiler tarafından üretilen, hayvan barınaklarından toplanan ve herhangi bir işleme tabi tutulmadan doğrudan tarla veya bahçelere uygulanabilen organik gübre türleridir. Bu gübrelerin üretimi sırasında hijyen ve sanitasyon uygulamalarının yetersiz olması, *Clostridium botulinum* sporlarının bu gübre kaynaklarında canlı kalmasını ve çoğalmasını kolaylaştırmaktadır (Dahlenborg vd., 2001).

Ayrıca, hayvan gübrelerinin depolanma ve uygulama koşullarındaki eksiklikler, *Clostridium botulinum* sporlarının aktivasyonunu ve nörotoksin üretimini destekleyebilmektedir. Gübre yığınlarının nemli ve oksijensiz ortamlarda bırakılması, *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesine ve vejetatif hücrelerin üremesine olanak sağlar (Galey vd., 1987). Bu nedenle, bu tür gübrelerin üretimi, depolanması ve kullanımı sırasında hijyen ve güvenlik önlemlerinin alınması büyük önem taşımaktadır.

Hayvan gübrelerinde *Clostridium botulinum* sporlarının bulunma nedenleri ise;

- Hayvan Kaynaklı Kontaminasyon:
- *Clostridium botulinum* bakterileri, hayvanların bağırsak sistemlerinde ve dışkılarında doğal olarak bulunur (Huss, 1980).
- Özellikle ruminant hayvanlar (sığır, koyun, keçi gibi) bu bakterinin taşıyıcısı olabilir.
- Hayvan dışkıları gübre materyaline *Clostridium botulinum* sporları bulaştırır.
- Toprak Kaynaklı Kontaminasyon:
- *Clostridium botulinum* sporları, toprakta yaygın olarak bulunur (Dodds, 1993).
- Özellikle tarımsal alanlarda ve hayvan barınaklarındaki topraklar, sporlarca kontamine olabilir.
- Gübre yapımında kullanılan toprak ve saman gibi materyaller, ürüne sporlara bulaşma yolu oluşturabilir.
- Yetersiz Hijyen:
- Gübre yapım, depolama ve dağıtım aşamalarında yetersiz hijyen önlemleri, *Clostridium botulinum* sporlarının ürüne girmesine neden olabilir (Lund, 1990).
- Kullanılan ekipmanlar, depolama koşulları ve uygulama yöntemleri, sporlara bulaşmayı artırabilir.
- Uygun Olmayan İşleme:
- Hayvan gübrelerinde *Clostridium botulinum* sporlarını uygun şekilde inaktive edecek bir ısı işlem uygulanmaması durumunda, canlı sporlar gübreye karışabilir (Montville & Matthews, 2008).
- Fermentasyon, kurutma gibi işlemlerin uygun şekilde yapılmaması, sporlara karşı etkin kontrol sağlayamaz.

Hayvan gübrelerinde *Clostridium botulinum* sporlarının varlığını önlemek veya azaltmak için aşağıdaki yöntemler uygulanabilir:

- Hijyen ve sanitasyon uygulamaları:
- Hayvan barınaklarının ve gübre toplama alanlarının düzenli olarak temizlenmesi ve dezenfeksiyonu
- Gübre toplama, depolama ve uygulama aşamalarında hijyen kurallarına uyulması
- Çalışanların kişisel hijyen alışkanlıklarının geliştirilmesi
- Gübre işleme teknikleri:
- Gübreye ısı işlem (pastörizasyon veya sterilizasyon) uygulanarak *Clostridium botulinum* sporlarının yok edilmesi
- Kompostlama yöntemiyle gübredeki organik maddenin parçalanması ve sporların çimlenmesinin engellenmesi
- Gübreye asit ilavesi veya pH düşürülmesi ile *Clostridium botulinum*'un gelişiminin önlenmesi
- Depolama ve uygulama koşullarının iyileştirilmesi:
- Gübre yığınlarının kuru ve iyi havalandırılmış ortamlarda saklanması
- Gübre uygulamalarında toprak içine karıştırma işleminin yapılması
- Gübre uygulamasından sonra tarla veya bahçelerin yeterince uzun süre bekletilmesi
- Eğitim ve bilinçlendirme çalışmaları:
- Çiftçilere ve tarımsal çalışanlara *Clostridium botulinum* riski ve kontrol yöntemleri konusunda eğitimler verilmesi
- Gübre kullanımı, depolanması ve sanitasyonu hakkında farkındalık yaratılması





Sonuç olarak, hayvan kökenli kontaminasyon, toprak, yetersiz hijyen ve uygun olmayan işleme, köy tipi hayvan gübrelerinde *Clostridium botulinum* sporlarının bulunmasına yol açabilmektedir. Gerekli önlemlerin uygulanması, köy tipi hayvan gübrelerinde *Clostridium botulinum* sporlarının varlığını ve neden olabileceği riskleri önemli ölçüde azaltabilir (Galey vd., 1987; Dahlenborg vd., 2001).

Kemik Unu/Et Ununda *Clostridium botulinum*

Kemik unları, et ve kemik kalıntılarının işlenerek toz haline getirilmesiyle elde edilir. Benzer şekilde, et unları da hayvansal kaynaklı protein içerikli atık maddelerin kurutulup öğütülmesiyle üretilir. Üretim sırasındaki ısı işlemin yetersiz olması veya hijyen uygulamalarındaki eksiklikler, bu gıda hammaddelerinde *Clostridium botulinum* sporlarının canlı kalmasına ve çoğalmasına yol açabilmektedir (Dahlenborg vd., 2001). *Clostridium botulinum* sporları, özellikle hayvansal kaynaklı kemik unu ve et unu gibi gıda hammaddelerinde sıklıkla bulunur. Bu tür ürünler, hayvanların sindirim sisteminde doğal olarak mevcut olan *Clostridium botulinum* bakterisinin canlı formlarını ve sporlarını içerebilmektedir (Smith, 1977).

Kemik unu ve et unu gibi hayvansal kaynaklı rnler, *Clostridium botulinum* sporları için uygun besinsel koşullar sunmaktadır. Sporların imlenmesi ve vejetatif hücrelerin üremesi için gerekli olan protein, mineral ve diğer besin içerikleri bu tür ürünlerde yeterli düzeyde mevcuttur (Galey vd., 1987). Dolayısıyla, kemik unu, et unu ve benzeri hayvansal kaynaklı gıda hammaddeleri, *Clostridium botulinum* sporlarının bulunması ve çoğalması açısından risk teşkil etmektedir. Bu nedenle, bu tür ürünlerin üretimi, depolanması ve kullanımında hijyen, sanitasyon ve güvenlik önlemlerinin titizlikle uygulanması önem taşımaktadır.

Kemik unu ve et ununda da *Clostridium botulinum* sporlarının bulunma nedenleri ise;

- Hammadde Kaynaklı Kontaminasyon:
- Hayvanların bağırsak, deri ve kemiklerinde doğal olarak bulunan *Clostridium botulinum* sporları, etlerin ve kemiklerin işlenmesi sırasında un ürünlerine geçebilir (Dodds, 1993). Özellikle toprak, su ve hayvan dışkısı gibi çevresel kaynaklar, hammadde olan etleri ve kemikleri kontamine edebilir (Lund, 1990).
- İşleme Sırasındaki Kontaminasyon:
- Unların retimi, kurutulması, depolanması ve taşınması sırasında, uygun hijyen önlemlerinin alınmaması durumunda *Clostridium botulinum* sporları bulaşabilir (Conner & Beuchat, 1984).
- Yetersiz ısı işlem, *Clostridium botulinum* sporlarını inaktive edemeyeceği için, canlı sporlar ürüne geçebilir (Montville & Matthews, 2008).
- Yeniden Kontaminasyon:
- Kemik ve et unlarının uygun olmayan depolama ve nakliye koşullarında muhafaza edilmesi, *Clostridium botulinum* sporlarının yeniden bulaşmasına neden olabilir (Conner & Beuchat, 1984).
- Paketleme sırasında yetersiz hijyen önlemleri kontaminasyona yol açabilir.
- Kemik unu ve et unu gibi hayvansal kaynaklı gıda hammaddelerinde *Clostridium botulinum* sporlarının önlenmesi için çeşitli yöntemler uygulanabilir:
- Etkin Isıl İşlem: Üretim sürecinde *Clostridium botulinum* sporlarını etkisiz hale getirecek yeterli ısı işlem uygulanmalıdır. Genellikle 121°C sıcaklıkta en az 15 dakika boyunca ısı işlem yapılması önerilmektedir (Gibson & Hobbs, 1987).
- Aseptik retim Koşulları: Hammadde temini, üretim, paketleme ve depolama aşamalarında hijyen ve sanitasyon şartlarına titizlikle uyulması gerekmektedir. Böylece, kontaminasyon riskinin en aza indirilmesi sağlanır (Galey vd., 1987).
- Deoksijenasyon: Kemik unu ve et unu gibi ürünlerin depolanması sırasında oksijen seviyesinin düşürülmesi, *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve vejetatif hücrelerin üremesini engelleyebilir (Briozzo vd., 1983). *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve toksin üretimini engelleyebilir. Nitrit, sorbik asit, benzoik asit gibi koruyucular kullanılabilir (Conner & Beuchat, 1984).
- Düşük pH ve Su Aktivitesi: Kemik unu ve et unu gibi ürünlerde düşük pH değerı (asidik ortam) ve düşük su aktivitesi, *Clostridium botulinum* sporlarının gelişimini sınırlandırabilir (Notermans vd., 1979).
- Kombine Koruma nlemleri: Yukarıda sayılan yöntemlerin birlikte uygulanması, *Clostridium botulinum* sporlarına karşı çok daha etkin bir koruma sağlayabilir (Leistner, 2000).

Sonuç olarak, *Clostridium botulinum* sporları başlıca ham madde, işleme süreci ve yeniden kontaminasyon nedenleriyle kemik ve et unlarında bulunabilmektedir. Uygun önlemlerin alınması, bu bakterilerin ürünlere girmesini engelleyebilir.





Balık Ununda *Clostridium botulinum*

Deniz ortamında yaşayan balık ve diğer deniz canlılarının sindirim sisteminde su ortamlarında ve sedimentlerde *Clostridium botulinum* bakterisi doğal olarak yer almaktadır. Bu bakterilerin sporları, balıkların yaşam alanlarında ve avlanma bölgelerinde çok yaygındır. Balık ve deniz hayvanlarının işlenmesi, kurutulması ve öğütülmesi sırasında yeterli ısıl işlem uygulanmaması veya hijyen kurallarına uyulmaması durumunda, bu ürünlerde *Clostridium botulinum* sporlarının canlı kalması ve çoğalması mümkün olmaktadır (Huss, 1980). *Clostridium botulinum* sporları, özellikle balık unu gibi deniz kaynaklı gıda hammaddelerinde sıklıkla bulunur. Balık unları, çeşitli balık ve deniz canlılarının işlenmesi sonucunda elde edilen protein bakımından zengin ürünlerdir (Montville & Matthews, 2008).

Balık unu gibi deniz kökenli ürünler, *Clostridium botulinum* sporları için besinsel açıdan uygun bir ortam sunarlar. Sporların çimlenmesi ve vejetatif formların üremesi için gerekli protein, mineral ve diğer besin içerikleri bu tür ürünlerde yeterli düzeydedir (Galey vd., 1987). Dolayısıyla, balık unu ve benzeri deniz kaynaklı gıda hammaddeleri, *Clostridium botulinum* sporlarının varlığı ve çoğalması açısından risk oluşturmaktadır. Bu nedenle, bu tür ürünlerin üretimi, depolanması ve kullanımında hijyen, sanitasyon ve güvenlik önlemlerinin titizlikle uygulanması önem taşımaktadır.

Clostridium botulinum sporlarının bulunma nedenleri ise;

- Ham Balık Materyali: Balıkların bağırsak sistemi, deri ve solungaçlarında doğal olarak bulunan *Clostridium botulinum* sporları, işleme sırasında un materyaline geçebilir (Dodds, 1993).
- Çevre Kontaminasyonu: Balık avlama ve işleme ortamlarındaki toprak, su ve ekipmanlar, *Clostridium botulinum* sporlarının bulaşmasına neden olabilir (Lund, 1990).
- Yetersiz Isıl İşlem: Balık unu üretiminde uygulanan ısıl işlemler, *Clostridium botulinum* sporlarını tam olarak inaktive edemediğinde, sporlar ürüne geçebilir (Montville & Matthews, 2008).
- Yeniden Kontaminasyon: Balık unu üretimi sonrasında, uygun olmayan depolama koşulları veya paketleme işlemleri, *Clostridium botulinum* sporlarının ürüne geri bulaşmasına neden olabilir (Conner & Beuchat, 1984).
- Balık ununda *Clostridium botulinum* sporlarının önlenmesi için uygulanabilecek başlıca yöntemler:
- Etkin Isıl İşlem: Balık unu üretiminde, *Clostridium botulinum* sporlarını tamamen inaktive edecek yeterli ısıl işlem uygulanması önemlidir. Genellikle 121°C'de en az 15 dakika süreyle ısıtma işlemi önerilmektedir (Lund, 1990).
- Hızlı Soğutma ve Düşük Sıcaklıkta Depolama: Balık unu üretimi sonrasında ürünün hızla soğutulması ve düşük sıcaklıklarda (4°C) depolanması, *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve üremesini engelleyebilir (Dodds, 1993).
- Düşük Su Aktivitesi: Balık ununda su aktivitesinin düşük tutulması, *Clostridium botulinum* sporlarının gelişimini sınırlandırır. Kurutma işlemleri ile su aktivitesi düşürülebilir (Notermans vd., 1979).
- Düşük pH: Balık unu üretiminde asit ilavesi veya fermentasyon yoluyla düşük pH değerlerinin sağlanması, *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve toksin üretimini önleyebilir (Montville & Matthews, 2008).
- Koruyucu Katkı Maddeleri: Nitrit, sorbik asit, benzoik asit gibi bazı kimyasal katkı maddeleri, *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve toksin üretimini engelleyebilir (Conner & Beuchat, 1984).
- Modifiye Atmosfer Paketleme: Balık unu paketlerinde oksijen seviyesinin düşürülmesi ve karbon dioksit oranının yükseltilmesi, *Clostridium botulinum* sporlarının gelişimini sınırlayabilir (Briozzo vd., 1983).
- Kombine Yöntemler: Yukarıda belirtilen kontrol önlemlerinin birlikte uygulanması, *Clostridium botulinum* sporlarına karşı daha etkili bir koruma sağlayabilir (Leistner, 2000).

Etkin kontrol önlemleri uygulanarak, bu bakterilerin ürüne girmesi ve üremesi engellenebilir.

*Clostridium botulinum*un Önlenmesi için Kimyasal Yöntemler

Clostridium botulinum sporlarının kontrolü için kullanılabilecek etkili kimyasal yöntemler şunlardır:

- Organik asitler: Asetik asit, laktik asit, propiyonik asit gibi organik asitler *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve üremesini engelleyebilir (Juneja vd., 2019). Bu asitler, depolanan kuru yemlere eklenebilir veya yem işleme aşamasında kullanılabilir.
- Antimikrobiyal bileşikler: Nisin, lizozim, lactoferrin gibi doğal antimikrobiyal bileşikler *Clostridium botulinum* sporlarının gelişimini baskılayabilir (Juneja vd., 2019). Bu bileşikler, kuru yem formülasyonlarına ilave edilebilir.
- Ozon: Ozon, *Clostridium botulinum* sporlarını inaktive edebilen güçlü bir oksitleyicidir (Juneja vd., 2019). Kuru yem depolama alanlarında ozonlama, sporlara karşı etkili bir kimyasal işlem sağlayabilir.





- Hidrojen peroksit: Hidrojen peroksit, *Clostridium botulinum* sporlarının eliminasyonu için kullanılabilecek bir diğer kimyasal ajandır (Juneja vd., 2019). Kuru yemlere veya depolama ortamına uygulanabilir.

Clostridium botulinum sporlarının kontrolünde kimyasal yöntemlerin avantajları ve dezavantajları şöyle özetlenebilir:

Avantajlar:

- Etkinlik: Organik asitler, antimikrobiyal bileşikler, ozon ve hidrojen peroksit gibi kimyasal yöntemler *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve üremesini etkili bir şekilde engelleyebilir (Juneja vd., 2019).
- Kısa sürede etki: Kimyasal uygulamalar, *Clostridium botulinum* sporlarına hızlı bir şekilde etki ederek sporlara karşı kısa sürede kontrol sağlayabilir (Juneja vd., 2019).
- Esnek uygulama: Kimyasallar, kuru yem formülasyonlarına ilave edilebilir veya depolama ortamına uygulanabilir (Juneja vd., 2019).

Dezavantajlar:

- Kalıntı riski: Kimyasal kalıntıları, insan ve hayvan sağlığı için potansiyel bir risk oluşturabilir. Uygun miktarlarda ve güvenli şekilde kullanılmaları gerekir (Juneja vd., 2019).
- Toksik etkiler: Bazı kimyasallar, yüksek konsantrasyonlarda veya yanlış kullanıldığında toksik etkilere neden olabilir (Juneja vd., 2019).
- Maliyet: Kimyasalların elde edilmesi ve doğru şekilde uygulanması ek maliyet gerektirebilir (Juneja vd., 2019).
- Yem kalitesi üzerindeki etkiler: Kimyasalların yem kalitesi, lezzet ve besleyici değer üzerinde olumsuz etkileri olabilir (Juneja vd., 2019).
- Çevresel kaygılar: Bazı kimyasalların çevreye ve ekosisteme olumsuz etkileri olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır (Juneja vd., 2019).

Yukarıdaki kimyasal yöntemler, diğer fiziksel kontrol önlemleriyle birlikte kullanıldığında *Clostridium botulinum* sporlarının etkili bir şekilde kontrol edilebilmesine yardımcı olabilmektedir.

***Clostridium botulinum*ün Önlenmesi için Diğer Yöntemler**

Clostridium botulinum sporlarının kontrolünde kimyasal yöntemlerin yanı sıra aşağıdaki diğer yöntemler de kullanılabilir:

- Isıl işlem: *Clostridium botulinum* sporlarının ısıya dayanıklı olması sebebiyle, yüksek sıcaklık uygulamaları (örneğin pastörizasyon, sterilizasyon) sporlara karşı etkili olabilir (Bavouzet vd., 1993). *Clostridium botulinum* sporları, yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır ve sporların inaktivasyonu için yüksek sıcaklıklarda uzun süre ısıtılmalıdır (Doyle, 2007). Uygun sıcaklık ve sürede uygulanan ısıtılma işlemi, sporların çimlenmesini ve vejetatif hücrelerin üremesini engelleyerek etkili olur (Doyle, 2007). Uygulanan ısıtılma türleri:
- Otoklavlama: 121°C sıcaklıkta 15-20 dakika uygulanır ve sporların inaktivasyonunda en etkili yöntemdir (Doyle, 2007).
- Basınçlı ısıtılma: Sıcaklık ve basıncın birlikte uygulanması sporların inaktivasyonunu daha da artırır (Mañas & Pagán, 2005).
- Aseptik işleme: UHT (ultra yüksek sıcaklık) uygulamaları, özellikle süt ürünlerinde sporların kontrolünde kullanılır (Doyle, 2007).

Uygun sıcaklık ve sürede uygulanan ısıtılma işlemleri, *Clostridium botulinum* sporlarının kontrolünde etkili bir yöntemdir. Ancak, gıda kalitesi ve besin değeri üzerindeki etkileri dikkatli bir şekilde incelenmelidir (Mañas & Pagán, 2005; Doyle, 2007).

- Radyasyon: İyonlaştırıcı radyasyon (gama ışınları, X-ışınları) *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve üremesini engelleyebilir (Brandt vd., 1996). İyonlaştırıcı radyasyon, *Clostridium botulinum* sporlarının hücre yapısını ve DNA'sını bozarak sporların inaktivasyonunu sağlar. Radyasyon, sporların çimlenme ve üremesini engelleyerek de etkili olmaktadır (Farkas, 2006).
- Radyasyon türleri:





- Gamma ışınları: Gıdalarda *Clostridium botulinum* sporlarının kontrolünde en yaygın kullanılan radyasyon türüdür (Farkas, 2006).
- Elektron ışınları: Yüksek enerji elektron ışınları da sporların inaktivasyonunda etkilidir (Niemira, 2012).
- X-ışınları: Daha yüksek nüfuziyet kabiliyetine sahip X-ışınları da *Clostridium botulinum* sporlarının kontrolünde kullanılabilir (Niemira, 2012).

Sonuç olarak, radyasyon işleme, *Clostridium botulinum* sporlarının kontrolünde etkili bir yöntemdir. Ancak, tüketici kabulü, dozaj optimizasyonu ve gıda kalitesi üzerindeki etkileri dikkatli bir şekilde incelenmelidir (Farkas, 2006; Niemira, 2012).

- Yüksek basınç: Yüksek hidrostatik basınç uygulamaları *Clostridium botulinum* sporlarının inaktivasyonunda kullanılabilir (Scurlock-Jones & Mackey, 2001). Yüksek basınç işleme (High Pressure Processing- HPP), *Clostridium botulinum* sporlarının inaktivasyonu için kullanılan etkili bir yöntemdir. Yüksek basınç (400-600 MPa), *Clostridium botulinum* sporlarının hücre duvarı ve yapısal bütünlüğünü bozar (Georget vd., 2015). Bu işlem, sporların çimlenme ve üremesini engeller (Reineke vd., 2015).

Yüksek basınç işleme, *Clostridium botulinum* sporlarının inaktivasyonunda güvenilir ve etkili bir yöntemdir. Optimum işlem parametrelerinin belirlenmesi ve diğer koruyucu teknolojilerle kombinasyonu, gıda güvenliğini sağlamada önemli rol oynamaktadır (Georget vd., 2015; Ramaswamy vd., 2020).

- Biyokontrol: Probiyotik bakteriler, rekabetçi eksklüzyon bakterileri veya bakteriyosinler gibi biyokontrol ajanları *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve üremesini engelleyebilir (Petroni vd., 2002). Biyokontrol ajanları, *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve üremesini engelleyebilen veya inhibe eden mikroorganizmalar ya da doğal bileşiklerdir. Bunlara örnekler aşağıdaki gibidir:
- Probiyotik bakteriler: Laktik asit bakterileri (Lactobacillus, Bifidobacterium gibi) ve Bacillus türleri gibi probiyotik bakteriler, rekabetçi eksklüzyon yoluyla *Clostridium botulinum* sporlarının çoğalmasını önleyebilir (Gálvez vd., 2007). Ayrıca, ürettikleri organik asitler, hidrojen peroksit ve bakteriyosinler de sporlara karşı etkilidir (Gálvez vd., 2007).
- Bakteriyosinler: Bakteriler tarafından üretilen antimikrobiyal proteinler olan bakteriyosinler, Clostridium botulinum sporlarının çimlenmesini ve üremesini engelleyebilir (Hossain vd., 2017). Nisin ve pediocin gibi bakteriyosinler, gıda uygulamalarında Clostridium botulinum kontrolünde kullanılabilir (Hossain vd., 2017).
- Rekabetçi eksklüzyon bakterileri: Clostridium botulinum ile besin ve ortam için rekabet edebilen diğer bakteri türleri, sporların çoğalmasını baskılayabilir. Örneğin Bacillus, Paenibacillus ve Brevibacillus türleri Clostridium botulinum sporlarının gelişimini engelleyebilir (Adhikari vd., 2019).
- Esansiyel yağlar ve bileşenleri: Kekik, karanfil, tarçın, kekik, kişniş gibi bitkilerden elde edilen esansiyel yağlar ve bunların bileşenleri (timol, eugenol, sinnamealdehit gibi), Clostridium botulinum sporlarının çimlenmesini ve üremesini engelleyebilir. Bu bileşikler, hücre zarı hasarı, enzim inaktivasyonu ve genetik fonksiyon inhibisyonu yoluyla etkili olmaktadır (Hyldgaard vd., 2012).

Bu biyokontrol ajanları, kimyasal ve fiziksel yöntemlere göre daha doğal ve çevre dostu seçenekler sunmaktadır. Ancak etkinliklerinin değerlendirilmesi ve güvenli kullanımları için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

- Yönetimsel önlemler: Hijyen, sanitasyon, depolama koşullarının iyileştirilmesi ve doğru ambalajlama Clostridium botulinum sporlarının kontaminasyonunu ve çoğalmasını önleyebilir (Peck, 2009). Yönetimsel önlemler, Clostridium botulinum sporlarının çimlenmesini ve üremesini engellemek için gıda üretimi ve işleme süreçlerinde uygulanan yöntemlerdir.

Başlıca yönetimsel önlemler şunlardır:

- Sıcaklık kontrolü: Clostridium botulinum sporları, ısısal işlemler (pişirme, pastörizasyon, sterilizasyon) ile deaktifte edilebilir. Uygun sıcaklık ve sürelerde uygulanan ısısal işlemler, sporların çimlenmesini ve toksin üretimini önler (Ito vd., 1976).
- pH kontrolü: Clostridium botulinum sporları, asidik ortamlarda (pH < 4,6) çimlenme ve üreme gösteremez. Sirke, limon suyu, asitler gibi pH düşürücü katkıları kullanılarak uygun pH değerleri sağlanabilir (Dodds, 1993).





- Su aktivitesi kontrolü: *Clostridium botulinum* sporları, düşük su aktivitesi ($a_w < 0,93$) ortamlarında çimlenme ve üreme gösteremez. Tuzlama, kurutma, ozmotik koşullar gibi yöntemlerle su aktivitesi azaltılabilir (Peck, 2009).
- Modifiye atmosfer paketlenme: Oksijensiz (anaerobik) koşullar, *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve toksin üretimini engeller. Azot, karbondioksit gibi gazlarla modifiye edilmiş atmosfer paketlenme uygulanabilir (Peck, 2006).
- Kombine yöntemler: Birden fazla yönetimsel önlemin kombine edilmesi (hurdle teknolojisi), *Clostridium botulinum* kontrolünde daha etkili olabilir. Isıl işlem, asitleme, su aktivitesi düşürme gibi yöntemler birlikte kullanılabilir (Leistner, 2000).

Yönetimsel önlemler, gıda üretimi ve işleme süreçlerinde *Clostridium botulinum* sporlarının kontrolünde önemli rol oynar. Bu önlemler, spor çimlenmesini ve toksin oluşumunu engelleyerek gıda güvenliğini sağlar (Lund & Peck, 2000).

Sığır Yetiştiriciliğinde Botulismus Riskini Azaltmak İçin Alınması Gereken Önlemler

Botulismus, sığırlar için son derece ölümcül bir hastalıktır. Erken teşhis ve uygun tedavi edilmediği takdirde, yüksek mortalite oranlarına neden olmaktadır. Bu nedenle, sığır yetiştiricilerinin hayvanlarındaki olası botulismus belirtilerine karşı dikkatli olmaları ve yem-su hijyeni konusunda özen göstermeleri hayati önem taşır.

- Yem Hijyeni: Yemlerin üretimi, depolanması, dağıtımı ve kullanımında hijyen kurallarına özen gösterilmelidir. Kontamine yemler kesinlikle kullanılmamalıdır. Yem hazırlık alanları düzenli olarak temizlenmeli ve dezenfekte edilmelidir. Hayvan yemlerinin taze ve kaliteli olmasına dikkat edilmelidir.
- Su Kaynağı Hijyeni: Sığırların içme suyu kaynakları, düzenli olarak kontrol edilmeli ve hijyenik tutulmalıdır. Durgun su birikintileri bertaraf edilmelidir. Hayvanların dışkı, toprak ve diğer kontaminantlarla temasını engelleyecek önlemler alınmalıdır (USDA, 2018)
- Çevre Hijyeni: Barınak ve otlakların temizliği sağlanmalı, kontamine alanlar ıslah edilmelidir. Hayvan dışkılarının uygun şekilde uzaklaştırılması ve bertarafı sağlanmalıdır. Sürü içinde ölmüş hayvanlar hızlıca imha edilmelidir (Böhnel & Gessler, 2005b)
- Koruyucu Aşılama: Özellikle endemik bölgelerde, sığırlar botulismus aşılılarıyla düzenli olarak bağışıklanmalıdır. Aşılama programları, veteriner hekim danışmanlığında uygulanmalıdır (Ritter vd., 2019)
- Erken Teşhis ve Uygun Tedavi: Sığırlardaki botulismus şüpheli belirtiler hızlıca tespit edilmeli ve veteriner hekime bildirilmelidir. Hastalığın erken dönemlerinde uygulanan antitoksin tedavisi, hayvanların kurtarılmasında kritik rol oynar (Qureshi vd., 2012).

Sonuç

Dünyada ve ülkemizde önemli bir hastalık olan botulismus bakteriler tarafından meydana geldiği için ülke hayvancılığında önemli bir problem oluşturmaktadır. Özellikle ruminant hayvanlarda sadece verim kayıplarına neden olmayıp mortalite ile sonuçlanacağı için bu hastalık büyük bir ekonomik kayba neden olmaktadır. Hayvan besleme ile bu hastalığın önüne geçebilmek mümkün olabilmekle birlikte hayvan sağlığı olumlu yönde etkilenecek ekonomik kayıpların önüne geçilebilecektir. Hayvan beslemede bu hastalığa neden olan yemler ve bakterilerin bu yemlerde toksin üretmesini önlemek önemli olmaktadır. Silaj, kuru yemler, köy tipi hayvan gübreleri, et ve kemik unu, balık unu hayvan yemlerinde başlıca kaynaklardır. Bununla birlikte *clostridium botulinum* kontaminasyonunun önlenmesi için yem üretimi, hasatı ve depolama koşullarına özen gösterilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla temiz yem ve su hayvana sağlanmalı depolanma koşullarına dikkat edilmelidir.

Kaynaklar

- Adhikari, BM., Bjarnadóttir, SG., Alves-Barroco, C., Thapa, D., Jaiswal, AK., Mathada, RV., Roopesh, MS. (2019). Strategies to control *Clostridium botulinum* in low-acid foods: Current status and future opportunities. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(4), 1056-1106.
- Bavouzet, JM., Allais, A., Macquot, B., Bernard, J. (1993). Inactivation of *Clostridium botulinum* spores by high temperature. *International journal of food science & technology*, 28(3), 265-274.
- Blakely, RD., Sonders, MS. (1994). Signal receptor ligands attenuate veratridine-induced [3H]dopamine release from rat striatal synaptosomes. *Journal of Neurochemistry*, 62(1), 210-221.
- Böhnel, H., Gessler, F. (2005a). Botulinum toxins-cause of botulism and systemic diseases?. *Veterinary research communications*, 29, 313-345. <https://doi.org/10.1023/B:VERC.0000048489.45634.32>
- Böhnel, H., Gessler, F. (2005b). Botulinum Toxin - An Ecological Poison: Properties, Functionality and Feasible Countermeasures. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 66(3), 317-325.
- Böhnel, H., Schwagerick, B., Gessler, F. (2001). Visceral botulism-a new form of bovine *Clostridium botulinum* toxification. *Journal of Veterinary Medicine, Series B*, 48(5), 373-383. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0442.2001.00372.x>





- Brandi, G., Schiatti, F., Biavati, B., Calabrese, R. (1996). Radiosensitivity of *Clostridium botulinum* spores. *Journal of food protection*, 59(4), 374-377.
- Briozzo, J., Nuñez, L., Chirife, J., Herszage, L., D'aquino, M. (1983). Antimicrobial activity of clove oil dispersed in a concentrated sugar solution. *Journal of Applied Bacteriology*, 54(1), 139-143. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1989.tb02456.x>
- Conner, DE., Beuchat, LR. (1984). Effects of essential oils from plants on growth of food spoilage yeasts. *Journal of Food Science*, 49(2), 429-434. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1984.tb12437.x>
- Dahlenborg, M., Borch, E., Rådström, P. (2001). Development of a combined selection and enrichment PCR procedure for *Clostridium botulinum* types B, E, and F and its use to determine prevalence in fecal samples from slaughtered pigs. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(10), 4781-4788. <https://doi.org/10.1128/AEM.67.10.4781-4788.2001>
- Daisley, BA., Ogunkanmi, A. (2021). Neurotoxins. In StatPearls. StatPearls Publishing.
- Davies, DR., Merry, RJ., Williams, AP., Bakewell, EL., Leemans, DK., Tweed, JK. (1998). Proteolysis during ensilage of forages varying in soluble sugar content. *Journal of Dairy Science*, 81(2), 444-453. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75596-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75596-1)
- Dezfulian, M., Bartlett, JG. (1985). Isolation of *Clostridium botulinum* from animal feeds. *Journal of Clinical Microbiology*, 21(4), 529-530.
- Dodds, KL. (1993). *Clostridium botulinum* in the environment. In *Clostridium botulinum* 21-52. CRC Press.
- Doyle, MP. (2007). *Food microbiology: fundamentals and frontiers*. Washington, DC: ASM Press.
- Driehuis, F., Oude Elferink, SJWH. (2000). The impact of the quality of silage on animal health and food safety: a review. *Veterinary Quarterly*, 22(4), 212-216. <https://doi.org/10.1080/01652176.2000.9695061>
- Erbguth, FJ. (2004). Historical notes on botulism, *Clostridium botulinum*, botulinum toxin, and the idea of the therapeutic use of the toxin. *Movement Disorders*, 19(S8), S2-S6. <https://doi.org/10.1002/mds.20003>
- Farkas, J. (2006). Irradiation for better foods. *Trends in Food Science & Technology*, 17(4), 148-152. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.12.003>
- Galey, FD., Terra, R., Walker, R., Adaska, J., Etchebarne, MA., Puschner, B., Whitlock, RH. (1987). Type C botulism in dairy cattle from feed contaminated with a dead cat. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 9(3), 268-271. <https://doi.org/10.1177/104063870001200302>
- Gálvez, A., Abriouel, H., López, RL., Omar, NB. (2007). Bacteriocin-based strategies for food biopreservation. *International journal of food microbiology*, 120(1-2), 51-70. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.06.001>
- Georget, E., Siegmund, B., Lemmens, L., Johler, S., Hofer, A., Beekes, M., Mathys, A. (2015). Inactivation of *Clostridium botulinum* spores by high-pressure thermal processing: an international multi-laboratory study. *Applied and environmental microbiology*, 81(19), 6619-6627.
- Gibson, AM., Hobbs, G. (1987). *Clostridium botulinum* and processed meats. *Journal of Applied Bacteriology*, 63(2), 141-152.
- Graham, AF., Mason, DR., Peck, MW. (1997). Tetanus toxin production by *Clostridium tetani* in a range of different culture media. *Journal of Applied Microbiology*, 83(2), 181-187.
- Hossain, MI., Sadekuzzaman, M., Ha, SD. (2017). Probiotics as potential alternative biocontrol agents in the agriculture and food industries: a review. *Food Research International*, 100, 63-73. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.077>
- Huss, HH. (1980). Distribution of *Clostridium botulinum*. *Applied and environmental microbiology*, 39(4), 764-769. <https://doi.org/10.1128/aem.39.4.764-769.1980>
- Hyldgaard, M., Mygind, T., Meyer, RL. (2012). Essential oils in food preservation: mode of action, synergies, and interactions with food matrix components. *Frontiers in microbiology*, 3, 12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00012>
- Ito, KA., Billon, JA., Ones, ER., Meoj, MP. (1976). Destruction of *Clostridium botulinum* spores by heat. *Applied and Environmental Microbiology*, 32(6), 919-922.
- Juneja, VK., Sofos, JN., Yan, X. (2019). *Bacterial spores in food: control, inactivation, and detection*. CRC Press.
- Koç, B., Aydın Vural, H. (2019). Ruminantlarda botulismus. Aydın Vural H, editör. Büyükbaş hayvan yetiştiriciliğinde kullanılan ilaçlar, 1, 20-25.
- Kung Jr, L., Shaver, RD. (2001). Interpretation and use of silage fermentation analysis reports. *Focus on Forage*, 3(13), 1-5.
- Leistner, L. (2000). Basic aspects of food preservation by hurdle technology. *International journal of food microbiology*, 55(1-3), 181-186. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(00\)00161-6](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(00)00161-6)
- Lindström, M., Heikinheimo, A., Lahti, P., Korkeala, H. (2010). Novel insights into the epidemiology of *Clostridium botulinum*. *Food Microbiology*, 27(6), 717-725. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.03.020>
- Loftin, AH., McCleskey, FK. (2020). Botulism. In StatPearls. StatPearls Publishing.
- Lund, BM. (1990). Foodborne disease due to *Bacillus* and *Clostridium* species. *The Lancet*, 336(8719), 982-986.
- Lund, BM., Peck, MW. (2000). *Clostridium botulinum*. In *The microbiological safety and quality of food* (pp. 1057-1109). Aspen Publishers, Inc.
- Mañas, P., Pagán, R. (2005). Microbial inactivation by new technologies of food preservation. *Journal of Applied Microbiology*, 98(6), 1387-1399. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2005.02561.x>
- McDonald, P., Henderson, AR., Heron, SJ. (1991). *The biochemistry of silage*. Chalcombe publications.
- Montville, TJ., Matthews, KR. (2008). *Food microbiology: an introduction*. American Society for Microbiology Press.
- Niemira, BA. (2012). Cold plasma decontamination of foods. *Annual Review of Food Science and Technology*, 3, 125-142. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-022811-101132>
- Notermans, S., Dufrenne, J., Oei, HY. (1979). Botulinum toxin production by strains of *Clostridium botulinum* in relation to water activity and solute concentration. *Journal of Food Protection*, 42(8), 668-672.
- Pahlow, G., Muck, RE., Driehuis, F., Elferink, SJO., Spoelstra, SF. (2003). Microbiology of ensiling. *Silage science and technology*, 42, 31-93. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr42.c2>





- Peck, MW. (2006). Clostridium botulinum and the safety of minimally heated, chilled foods: an update. Food Control, 17(6), 472-478. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2006.02987.x>
- Peck, MW. (2009). Biology and genomic analysis of Clostridium botulinum. In Advances in microbial physiology (Vol. 55, pp. 183-265). Academic Press.
- Petrone, G., Conte, MP., Nicolai, MA., Palmieri, S., Majolino, D., Cavallazzi, JR. (2002). Competition between Bacillus coagulans and Clostridium botulinum: a potential role for surfactin. Current microbiology, 45(1), 28-32.
- Qureshi, S., Uzal, F.A., Homeland Security Center of Excellence. (2012). Botulism in Animals: An Update. Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice, 28(2), 317-333.
- Radostits, O.M., Gay, C.C., Blood, D.C., Hinchcliff, K.W. (2000). Veterinary Medicine: A Textbook of the Diseases of Cattle, Sheep, Pigs, Goats and Horses. 9. Baskı, W.B. Saunders.
- Ramaswamy, H. S., Zaman, S. U., Smith, J. P., Simpson, M. V. (2020). High pressure processing of foods for microbial safety and quality. Annual Review of Food Science and Technology, 11, 419-444.
- Reineke, K., Sevenich, R., Philipp, C., Crew, A., Nesbakken, T., Bredholt, S., Mathys, A. (2015). Comparative study on the high-pressure inactivation behavior of the closely related Clostridium diff icile strains 027 and 024. Applied and environmental microbiology, 81(19), 6543-6553.
- Ritter, J.M., Sanchez-Vazquez, M.J., Yager, P.H. (2019). Vaccination Against Botulism in Cattle and Sheep: A Systematic Review and Meta-Analysis. The Veterinary Journal, 244, 77-84.
- Schoenbaum, M. A., Freund, J. D., Beran, G. W. (2000). Elimination of Clostridium botulinum from compost by solarization. Compost Science & Utilization, 8(4), 350-356.
- Scurlock-Jones, J. M., Mackey, B. M. (2001). Inactivation of Clostridium botulinum spores using high hydrostatic pressure. Food microbiology, 18(4), 391-396.
- Smith, L. D. (1977). Botulism: the organism, its toxins, the disease. Charles C Thomas Publisher.
- Svensson, B., Tjener, K., Lantz, A. E., Mortensen, P. P. (2008). The potential for biocontrol of Clostridium botulinum in fishmeal using Bacillus cereus group bacteria. Biotechnology Letters, 30(6), 1013-1018.
- Trokhymchuk, A., Petryna, A., Zhyla, M., Dalekorey, H., Kovalchuk, N. (2019). Botulism in cattle - Causes, symptoms, diagnostics and treatment. Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies, 21(94), 109-114.
- USDA (United States Department of Agriculture). (2018). Bovine Botulism: Causes, Symptoms, and Prevention. USDA Animal and Plant Health Inspection Service.
- Whitlock, R. H., Pearson, J. E., Fillios, L. C., Hatheway, C. L., McCroskey, L. M. (1986). Type C botulism in horses. Journal of the American Veterinary Medical Association, 189(2), 212-216.
- Zeiller, M., Rothballer, M., Iwobi, A. N., Böhnelt, H., Gessler, F., Hartmann, A., Schmid, M. (2015). Systemic colonization of clover (Trifolium repens) by Clostridium botulinum strain 2301. Frontiers in microbiology, 6, 1207. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01207>





Effects of jackfruit seed powder addition on physicochemical properties and sensory acceptability of Jackfruit Turkish Delight

Nur Ariff Aiman Mohd Salleh¹, Faisal Ahmad^{1,2,*}

¹Universiti Malaysia Terengganu, Faculty of Food Science and Agrotechnology, 21030 Kuala Nerus, Terengganu, Malaysia.

²Universiti Malaysia Terengganu, Functional, Food RIG, Food Security in a Changing Climate SIG, Food Security Research Cluster, 21030 Kuala Nerus, Terengganu, Malaysia.

Abstract

Botulism is a fatal zoonotic disease caused by neurotoxins secreted by *Clostridium botulinum*, a spore-forming gram-positive anaerobic bacterium. In ruminant animal feeding, infection occurs primarily through contaminated feed, while environmental sources such as soil, water, and manure also play an important role in transmission pathways. *C. botulinum* neurotoxins block acetylcholine release at the neuromuscular junction, leading to progressive muscle paralysis and a clinical presentation characterized by high mortality rates. This situation leads to irreparable economic losses and severe declines in production capacity in the global livestock sector. Due to the limited efficacy of treatment options for the disease and their adverse effect on prognosis, prophylactic approaches aimed at eliminating infection sources have strategic priority in control strategies. Silage, dry feeds, animal-derived feed additives, and manure contamination used in ruminant feeding are identified as the main risk factors. Particularly in silage production processes, insufficient anaerobic fermentation, failure to achieve optimal pH range, and improper storage conditions create favorable microenvironments of critical importance for the germination of *C. botulinum* spores and toxin production. This review study aims to systematically and holistically evaluate etiological factors, molecular pathogenesis mechanisms, epidemiological transmission routes, and evidence-based control strategies of botulism infection in ruminant animal feeding. Considering the ongoing economic losses and public health risks in the livestock industry in Turkey and worldwide, there is an urgent need for multidisciplinary research on botulism pathogenesis, diagnostic methods, and prevention strategies, and this review is expected to provide a conceptual foundation and applied perspective to such scientific studies.

Key Words: Turkish Delight, *Artocarpus heterophyllus*, Jackfruit seed powder, By-product, Nutritional enhancement, Sustainable food product

Introduction

Turkish delight (*lokum*), a confection originating in Anatolia during the 15th century, derives from the Ottoman phrase “*rahat ul-hulküm*,” meaning “comforting to the throat” (Batu & Kirmaci, 2009; Anonymous, 2006). Its modern form was created by Hadji Bekir in the 18th century using refined sugar and starch, gaining global popularity when introduced to Europe in the 19th century (Doyuran et al., 2004; Anonymous, 2006). Primarily composed of starch and sugar, Turkish delight is high in carbohydrates, providing 295 kcal per 100 g, with low protein, fat, and fibre content (Öz et al., 2024). Traditionally flavoured with rosewater, lemon, or fruit extracts, it can also be enriched with nuts or fruit pulps to enhance nutritional value and antioxidant activity (Ozdemir & Akinci, 2004; Hanoğlu et al., 2023).

Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*), the largest tree-borne fruit, is native to South and Southeast Asia and is also cultivated in Africa and South America (Ranasinghe et al., 2019; Lin et al., 2022). Known as a multipurpose crop, jackfruit provides food, fodder, and medicinal applications, and contributes to food security due to its easy cultivation and pest resistance (Fabil et al., 2024; Bangladesh Bureau of Statistics, 2024). It is rich in phytonutrients with antibacterial, antidiabetic, anti-inflammatory, and antioxidant properties that help reduce chronic disease risk (Baliga et al., 2011; Ruiz-Montañez et al., 2014). Nutritionally, jackfruit provides vitamins A, B, and C, fibre, and minerals, with young jackfruit higher in protein and fibre, while ripe fruit contains more carbohydrates and sugars (Swami et al., 2012; Corley, 2007).

Jackfruit seeds, often discarded as waste, are rich in protein, fibre, starch, and essential minerals such as phosphorus, potassium, calcium, magnesium, and zinc, making them a valuable underutilised resource (Spada et al., 2020; Maurya & Mogra, 2016). Nutritional studies report high carbohydrate (73.71%), moderate protein (12.45%), and low fat (1.69%) contents, along with B-vitamins and dietary fibre, highlighting their potential as a functional ingredient (Eke-Ejiofor et al., 2014; Goh et al., 2024). Bioactive compounds including flavonoids, isoflavones, lignans, and saponins provide antioxidant, antimicrobial, and anti-carcinogenic properties, while jacalin, a seed lectin, has applications in immunological studies (Waghmare et al., 2019).





In addition to their nutritional benefits, using jackfruit seeds contributes to sustainability by recycling agricultural waste, supporting the creation of sustainable food systems, and expanding the commercial use of by-products. Adding jackfruit seed powder to Turkish delight offers a practical approach to improve both functional qualities and nutritional composition. To address this potential, the present study aimed to investigate the physicochemical properties and sensory acceptability of Jackfruit Turkish delight enriched with jackfruit seed powder. Studies integrating jackfruit seed powder into Turkish delight remain limited (Kamal et al., 2023; Mohammed et al., 2024), highlighting the novelty and importance of this research in developing healthier and more sustainable confectionery products.

Materials and Methods

Chemical Reagents and Equipment

All equipment and chemical reagents used in this study were obtained from the Chemical Laboratory, Faculty of Food Science and Agrotechnology, Universiti Malaysia Terengganu. The instruments included a TA.XT Plus Texture Analyser (Stable Microsystems, UK) for texture profile analysis and a Colourimeter (Konica Minolta, Japan) for colour determination. Moisture and ash contents were determined using crucibles, desiccators, an oven, and a muffle furnace. Fat content was analysed using extraction cups, thimbles, desiccators, and petroleum ether as solvent. Protein analysis was carried out using digestion tubes and racks with sodium hydroxide, boric acid, and sulfuric acid, while fibre content was determined using fibre bags and sulfuric acid solution.

Raw Materials

The raw materials used in the preparation of jackfruit Turkish Delight included sugar, water, lemon juice, corn starch, and cream of tartar, which were purchased from a local supermarket in Gong Badak, Terengganu. Fresh jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) was obtained from a local stall at Teluk Ketapang beach, Terengganu, to prepare jackfruit seed powder and jackfruit puree for the formulation.

Formulations

The formulations for jackfruit Turkish delight incorporating jackfruit seed powder at varying percentages are summarised in Table 1. The table compares the control sample, which does not include jackfruit seed powder, with three formulations (A, B, and C) containing 25%, 50%, and 75% jackfruit seed powder, respectively. It provides a detailed breakdown of ingredient percentages for each formulation, including adjustments to corn starch and jackfruit seed powder to achieve the desired variations.

Table 1. Formulations for jackfruit Turkish delight with the addition of jackfruit seed powder in percentage (%).

Ingredients (%)	Formulation			
	Control	A	B	C
Corn starch	5.95	4.46	2.97	1.49
Jackfruit Seed Powder	0.00	1.49	2.97	4.46
*Sugar	39.63			
*Water	31.04			
*Lemon Juice	0.99			
*Cream of Tartar	0.26			
*Jackfruit Puree	22.13			
Total	100			

Note: Ingredients labelled with (*) show a constant amount of ingredients were used. Formulations: Control, 0% jackfruit seed powder; A, added 25% jackfruit seed powder; B, added 50% jackfruit seed powder; C, added 75% jackfruit seed powder.

Jackfruit Seed Powder Preparation

Seeds were obtained from ripe jackfruit, and the arils and rinds were carefully removed using sharpened knives. The seeds were rinsed thoroughly with water to ensure cleanliness, and the outer skin was peeled off. The cleaned seeds were then boiled for 30 minutes until softened, followed by crushing with a food processor. The crushed seeds were evenly spread on trays and dried in a cabinet dehydrator at 60 °C for 24 hours (12% moisture content). After drying, the seeds were ground using a heavy-duty grinder and sieved through a 125–180 µm mesh to obtain a fine texture. This process resulted in the production of high-quality jackfruit seed powder (Eke-Ejiofor et al., 2014).

Jackfruit Turkish Delight preparation

The preparation of jackfruit Turkish delight incorporating jackfruit seed powder was carried out as follows: all ingredients were weighed, with the percentage of jackfruit seed powder increasing as the cornstarch content decreased (Table 1). Sugar syrup was prepared by dissolving 600 g of sugar in 230 g of water in a stainless-steel pot, bringing it to a boil, and heating it to 120 °C using a candy thermometer, while brushing the pot sides with





water to prevent crystallisation. In another saucepan, 240 g of water was mixed with 90 g of flour, 4 g of cream of tartar, and 335 g of jackfruit puree blended to a smooth consistency, and the mixture was stirred over medium heat until thick and pasty. The hot sugar syrup (120 °C) was slowly incorporated into the pasty flour–jackfruit mixture with continuous whisking until homogeneous. The mixture was then simmered on low heat, stirred every 8–10 minutes for approximately one hour, until a thick, gluey, golden-yellow texture was obtained. Finally, the mixture was poured into a mould and chilled overnight without covering, after which the chilled product was cut into uniform cubes and dusted with a refined sugar–cornstarch mixture.

Texture Analysis

The texture of jackfruit Turkish delight was evaluated using a texture analyser (TA.XTPlus, Stable Microsystem, UK) equipped with a cylindrical probe (P36R, 36 mm diameter). The textural attributes measured included springiness, adhesiveness, hardness, cohesiveness, and gumminess (Dogan et al., 2020). Each formulation was tested in triplicate, and mean values were reported.

Colour Analysis

The colour of the Jackfruit Turkish delight was analysed by using a colourimeter (Minolta Chroma Meter CR300, Japan). The colourimeter was calibrated using a white tile, and the value was expressed as L^* , a^* , and b^* . Jackfruit Turkish delight samples were placed into the platform where UV light standard illuminate type D65 was used. The light penetration was tested using a colourimeter. By clicking the button, the light penetrates the sample. After that, the L^* , a^* , and b^* values were displayed on the screen of the instrument. Each sample was measured three times with three replications. ΔE (delta E) was calculated by using the formula (equation 1) below:

$$\Delta E = \sqrt{(L^*2 - L^*1)^2 + (a^*2 - a^*1)^2 + (b^*2 - b^*1)^2} \quad (1)$$

Where;

L^*1 = Lightness of the control sample

L^*2 = Lightness of sample

a^*1 = Greenness and redness of control sample

a^*2 = Greenness and redness of sample

b^*1 = Blueness and yellowness of control sample

b^*2 = Blueness and yellowness of sample

ΔE = Total colour difference

Proximate Analysis

The proximate analysis of jackfruit Turkish delight involved several standard procedures. Moisture content was determined using the oven drying method, while ash content was measured using a muffle furnace at 550 °C for 24 hours (AOAC, 2005). Fat content was analyzed using the Labtec system, and protein content was determined by weighing 1.0 g of the pounded sample in a 250 ml digestion tube. For fibre analysis, an empty FibreBag was dried in an oven at 100–109 °C for 3 hours and weighed using an analytical balance (m1). Finally, total carbohydrate content was calculated as the last step in the proximate analysis of the Turkish delight.

Sensory Evaluation Test of Jackfruit Turkish Delight

Thirty untrained panellists were chosen randomly among University Malaysia Terengganu (UMT) students without specific priority in selection. The panellists evaluated the products using seven hedonic scales, where 1 indicates dislike extremely and 7 indicates like extremely. The evaluation was based on the Jackfruit Turkish delight's appearance, colour, flavour, texture, aroma, and overall acceptability. Each sample was packed individually and coded with a three-digit random number.

Statistical Analysis

All data obtained from the physicochemical analysis and sensory evaluation of Turkish delight were assessed using one-way analysis of variance (One-way ANOVA) with multiple comparisons, and significant differences among means ($p < 0.05$) were determined by Fisher's LSD using the program MINITAB release 21 Statistical Software. All data represent the means of triplicate.

Results

Texture Profile

The texture profile analysis of jackfruit Turkish delight with the addition of jackfruit seed powder is shown in Table 2. Hardness decreased from 1483.20 ± 159.00 g in the control (100% corn starch, 0% jackfruit seed powder) to 376.30 ± 119.50 g in Formulation C (25% corn starch, 75% jackfruit seed powder). Adhesiveness increased in magnitude (more negative) with higher jackfruit seed powder levels, ranging from -96.60 ± 47.50 g·s in the control to -311.20 ± 59.40 g·s in Formulation C. Springiness slightly decreased as the proportion of jackfruit seed powder





increased, with values from 0.99 ± 0.04 in the control to 0.88 ± 0.03 in Formulation C. Cohesiveness declined from 0.88 ± 0.01 in the control to 0.56 ± 0.04 in Formulation C. Gumminess and chewiness also decreased with higher jackfruit seed powder content, with gumminess ranging from 836.00 ± 111.20 g in the control to 260.50 ± 66.20 g in Formulation C, and chewiness ranging from 823.60 ± 84.50 g in the control to 229.30 ± 60.40 g in Formulation C. Values with different superscripts within each row were significantly different at $p < 0.05$.

Table 2. Texture profile analysis of jackfruit Turkish Delight with the addition of jackfruit seed powder

Parameter	Control	Formulation A	Formulation B	Formulation C
Hardness (g)	1483.20 ± 159.00^a	946.90 ± 129.90^b	927.10 ± 127.10^b	376.30 ± 119.50^c
Adhesiveness (g.s)	-96.60 ± 47.50^a	-192.80 ± 37.80^b	-256.87 ± 28.42^c	-311.20 ± 59.40^d
Springiness	0.99 ± 0.04^a	0.94 ± 0.01^b	0.91 ± 0.01^b	0.88 ± 0.03^c
Cohesiveness	0.88 ± 0.01^a	0.76 ± 0.02^b	0.71 ± 0.07^c	0.56 ± 0.04^d
Gumminess(g)	836.00 ± 111.20^a	812.30 ± 112.00^a	716.60 ± 82.70^b	260.50 ± 66.20^c
Chewiness(g)	823.60 ± 84.50^a	761.60 ± 100.50^a	656.20 ± 81.80^b	229.30 ± 60.40^c

Note: Data values are expressed as mean $\pm$ standard deviation of triplicates (n=3). Values with different superscripts within the row are significantly different at ($p < 0.05$); Control: 100% Corn starch, 0% JSP; Formulation A: 75% Corn starch, 25% JSP; Formulation B: 50% Corn starch, 50% JSP; Formulation C: 25% Corn starch, 75% JSP.

Colour Profile

The colour profile analysis of jackfruit Turkish delight with the addition of jackfruit seed powder is presented in Table 3. The lightness (L^*) values decreased as the proportion of jackfruit seed powder increased, ranging from 40.30 ± 0.53 in the control (100% corn starch, 0% jackfruit seed powder) to 34.44 ± 0.33 in Formulation C (25% corn starch, 75% jackfruit seed powder). The a^* values shifted from -1.21 ± 0.25 in the control to 1.89 ± 0.40 in Formulation C, indicating a gradual change from green to red tones. Similarly, b^* values increased from 11.27 ± 0.54 in the control to 18.84 ± 2.52 in Formulation C, showing a trend toward a more yellow hue. The total colour difference (ΔE) ranged from 1.38 ± 0.37 in Formulation A to 2.05 ± 0.83 in Formulation C, with significant differences observed between formulations ($p < 0.05$). These results indicate that increasing jackfruit seed powder resulted in a darker and more intensely coloured Turkish delight.

Table 3. Colour profile analysis of jackfruit Turkish Delight with the addition of jackfruit seed powder

Formulation	L^*	a^*	b^*	ΔE
Control	40.30 ± 0.53^a	-1.21 ± 0.25^d	11.27 ± 0.54^d	-
A	38.35 ± 0.74^b	-0.76 ± 0.25^c	14.79 ± 0.59^c	1.38 ± 0.37^b
B	36.06 ± 0.53^c	0.67 ± 0.12^b	16.41 ± 0.52^b	1.65 ± 0.26^{ab}
C	34.44 ± 0.33^d	1.89 ± 0.40^a	18.84 ± 2.52^a	2.05 ± 0.83^a

Note: Data values are expressed as mean $\pm$ standard deviation of triplicates (n=3). Values with different superscripts within the column are significantly different at ($p < 0.05$); Control: 100% Corn starch, 0% JSP; Formulation A: 75% Corn starch, 25% JSP; Formulation B: 50% Corn starch, 50% JSP; Formulation C: 25% Corn starch, 75% JSP.

Proximate Composition

The proximate composition of jackfruit Turkish delight with the addition of jackfruit seed powder is shown in Table 4. Moisture content remained relatively constant across all formulations, ranging from $11.37 \pm 0.19\%$ in the control (100% corn starch, 0% jackfruit seed powder) to $11.16 \pm 0.37\%$ in Formulation C (25% corn starch, 75% jackfruit seed powder). Ash content slightly increased from $0.46 \pm 0.05\%$ in the control to $0.54 \pm 0.04\%$ in Formulation C, while fat content ranged from $0.49 \pm 0.05\%$ to $0.53 \pm 0.04\%$ across the formulations. Protein content increased significantly with higher levels of jackfruit seed powder, from $0.48 \pm 0.12\%$ in the control to $1.59 \pm 0.05\%$ in Formulation C. Similarly, fibre content rose from $0.20 \pm 0.06\%$ in the control to $0.96 \pm 0.10\%$ in Formulation C. Carbohydrate content decreased slightly with increasing jackfruit seed powder, ranging from $87.00 \pm 0.38\%$ in the control to $85.22 \pm 0.49\%$ in Formulation C. Values with different superscripts within each row were significantly different at $p < 0.05$.

Table 4. Proximate analysis of jackfruit Turkish Delight with the addition of jackfruit seed powder

Parameter	Control	Formulation A	Formulation B	Formulation C
Moisture (%)	11.37 ± 0.19^a	11.29 ± 0.49^a	11.25 ± 0.40^a	11.16 ± 0.37^a
Ash (%)	0.46 ± 0.05^a	0.49 ± 0.03^a	0.51 ± 0.06^a	0.54 ± 0.04^a
Fat (%)	0.49 ± 0.05^a	0.50 ± 0.03^a	0.51 ± 0.01^a	0.53 ± 0.04^a
Protein (%)	0.48 ± 0.12^c	0.69 ± 0.19^c	0.98 ± 0.18^b	1.59 ± 0.05^a
Fibre (%)	0.20 ± 0.06^c	0.32 ± 0.04^c	0.61 ± 0.05^b	0.96 ± 0.10^a
Carbohydrate (%)	87.00 ± 0.38^a	86.80 ± 0.64^{ab}	86.14 ± 0.57^{ab}	85.22 ± 0.49^b

Note: Data values are expressed as mean $\pm$ standard deviation of triplicates (n=3). Values with different superscripts within the row are significantly different at ($p < 0.05$); Control: 100% Corn starch, 0% JSP; Formulation A: 75% Corn starch, 25% JSP; Formulation B: 50% Corn starch, 50% JSP; Formulation C: 25% Corn starch, 75% JSP.





Sensory Acceptance

The sensory evaluation of jackfruit Turkish delight with the addition of jackfruit seed powder is shown in Table 5. The mean scores and percentage of acceptance (%Ac.) were recorded for appearance, colour, aroma, chewiness, texture, sweetness, taste, aftertaste, and overall evaluation. Overall, Formulation B (50% corn starch, 50% jackfruit seed powder) received the highest acceptability among the JSP-enriched samples, with an overall mean score of 6.13 ± 0.47 and 96.67% acceptance, while Formulation C (25% corn starch, 75% JSP) received the lowest scores and acceptance, with an overall mean of 4.97 ± 1.05 and 53.33% acceptance. Control samples (100% corn starch, 0% JSP) received high mean scores for overall evaluation (6.37 ± 0.67) with 93.33% acceptance. Individual attributes followed similar trends; appearance, colour, aroma, chewiness, texture, sweetness, taste, and aftertaste scores were highest in the control and Formulation B and lowest in Formulation C. Values with different superscripts within each row were significantly different at $p < 0.05$.

Table 5. Mean scores and % of acceptances of jackfruit Turkish Delight with the addition of jackfruit seed powder

Attribute	Control	%Ac.	A	%Ac.	B	%Ac.	C	%Ac.
Appearance	6.17 $\pm 0.80^a$	96.67	6.13 $\pm 1.31^a$	73.33	6.12 $\pm 0.52^a$	90.00	5.43 $\pm 0.98^b$	66.67
Colour	6.23 $\pm 0.69^a$	93.33	6.15 $\pm 0.59^a$	80.00	6.05 $\pm 0.42^a$	93.33	5.22 $\pm 0.97^b$	56.67
Aroma	6.20 $\pm 0.52^a$	90.00	6.12 $\pm 0.82^a$	66.67	5.95 $\pm 0.42^a$	83.33	5.17 $\pm 1.06^b$	56.67
Chewiness	6.07 $\pm 0.58^a$	90.00	5.97 $\pm 0.75^a$	56.67	5.82 $\pm 0.65^a$	86.67	4.72 $\pm 1.22^b$	46.67
Texture	6.28 $\pm 0.54^a$	93.33	6.12 $\pm 0.75^a$	66.67	5.93 $\pm 0.55^a$	90.00	4.33 $\pm 1.59^b$	36.67
Sweetness	5.82 $\pm 1.49^a$	80.00	5.80 $\pm 0.91^a$	60.00	5.72 $\pm 0.61^a$	83.33	4.62 $\pm 1.41^b$	40.00
Taste	6.23 $\pm 0.83^a$	83.33	6.20 $\pm 0.74^a$	66.67	6.08 $\pm 0.77^a$	90.00	4.97 $\pm 1.11^b$	50.00
Aftertaste	5.92 $\pm 0.84^a$	93.33	5.80 $\pm 0.98^a$	70.00	5.78 $\pm 0.54^a$	86.67	4.73 $\pm 1.17^b$	43.33
Overall evaluation	6.37 $\pm 0.67^a$	93.33	6.20 $\pm 0.73^a$	70.00	6.13 $\pm 0.47^a$	96.67	4.97 $\pm 1.05^b$	53.33

Note: Data values are expressed as mean $\pm$ standard deviation (n=30). Values with different superscripts within the row are significantly different at ($p < 0.05$); Control: 100% Corn starch, 0% JSP; Formulation A: 75% Corn starch, 25% JSP; Formulation B: 50% Corn starch, 50% JSP; Formulation C: 25% Corn starch, 75% JSP. %Ac.; Percentage of Acceptance.

Discussion

Texture Profile

Table 2 presents the texture profile of jackfruit Turkish delight formulated with varying levels of JSP. This analysis provides insights into how the incorporation of JSP influences the texture properties of jackfruit Turkish delight. Hardness, the force required to compress the Turkish delight, showed a significant reduction ($p < 0.05$) as the level of JSP increased. The control formulation, prepared with 100% corn starch, recorded the highest hardness value (1483.20 ± 159.00 g), indicating a firmer texture. In contrast, Formulation C, with 75% JSP substitution, exhibited the lowest hardness value (376.30 ± 119.50 g). The decreasing trend suggests that incorporating JSP weakens the structural matrix, reducing the firmness of the product. This significant difference highlights the influence of JSP on the texture of the Turkish delight. Lower starch levels lead to a softer texture because starch granules contribute to the gel matrix's firmness and stability (Dey, 2017).

Adhesiveness, defined as the work required to overcome the attractive forces between the product and a surface, increased significantly ($p < 0.05$) with higher levels of JSP. The control formulation exhibited the lowest adhesiveness (-96.60 ± 47.50), while Formulation C showed the highest magnitude of adhesiveness (-311.20 ± 59.40). This significant increase is likely due to JSP's hydrophilic properties, which enhance moisture retention, making the Turkish delight stickier. The increased adhesiveness may impact the product's handling and consumer experience, as it becomes more challenging to manage during packaging and consumption. Jackfruit seed flour has been shown to exhibit adhesive properties, which can enhance the binding in products. This is likely due to the presence of polysaccharides and proteins that create a sticky matrix upon hydration (Mufarikha et al., 2021).





Springiness, the measure of a product's ability to recover its shape after deformation, decreased significantly ($p < 0.05$) with increased JSP content. The control formulation showed the highest springiness (0.99 ± 0.04), indicating a more elastic texture, while Formulation C, with 75% JSP substitution, recorded the lowest springiness (0.88 ± 0.03). This significant reduction suggests that JSP disrupts the starch network, resulting in a denser and less elastic product. Lower springiness may affect the sensory perception of Turkish delight by reducing its bounciness and elasticity. Jackfruit seed powder is known for its fibrous and dense texture, which can compact the structure of the food product. This compaction reduces the amount of air pockets that contribute to springiness, leading to a less elastic texture (Ibrahim et al., 2022).

Cohesiveness, which indicates the strength of internal bonds within the product, showed a significant decrease ($p < 0.05$) with increased JSP levels. The control formulation had the highest cohesiveness (0.88 ± 0.01), reflecting stronger structural integrity, while Formulation C recorded the lowest cohesiveness (0.56 ± 0.04). The significant reduction indicates that JSP incorporation weakens the internal bonds, likely due to its lower binding properties compared to corn starch. Reduced cohesiveness may compromise the stability and structural integrity of the jackfruit Turkish delight. Higher levels of JSP may alter the moisture content and the interaction between the ingredients, leading to a weaker binding matrix. Studies have shown that as the concentration of a binder increases, it can sometimes disrupt the cohesive forces among other components, resulting in decreased cohesiveness (Barbosa et al., 2023).

Chewiness, which represents the energy needed to chew the product until it is ready for swallowing, significantly decreased ($p < 0.05$) with increasing JSP levels. The control formulation had the highest chewiness value (823.60 ± 84.50), reflecting a firmer and more elastic texture, while Formulation C recorded the lowest chewiness (229.30 ± 60.40). The significant reduction in chewiness is a result of decreased gumminess and springiness in JSP-enriched formulations. This softer texture may enhance the product's appeal for consumers who prefer easier-to-chew confectionery items. This reduction in chewiness was attributed to the softer texture imparted by JSP, which altered the structural integrity of the confectionery matrix (Achinna et al., 2024).

Colour Profile

Table 3 presents the mean values of colour profile parameters (L^* , a^* , and b^*) for jackfruit Turkish delight formulated with varying amounts of JSP. The colour attributes, L^* , a^* , and b^* , were analysed to determine how the inclusion of JSP affects the colour of the product. The L^* values, which represent the lightness or darkness of the formulations, ranged from 34.44 to 40.30. The control formulation (100% corn starch) exhibited the highest lightness at 40.30 ± 0.53 , indicating it had the brightest colour. Formulation C (25% corn starch: 75% JSP) showed the lowest lightness with a value of 34.44 ± 0.33 , indicating that the addition of JSP resulted in a darker product. Significant differences were observed across all formulations ($p < 0.05$), with the lightness decreasing as the percentage of JSP increased. When additional jackfruit seed flour was added, the colour changed from light brown to dark brown (Hossain, 2014).

The a^* values, indicating the redness or greenness of the formulations, showed a significant increase as the JSP content increased. The control formulation had the lowest a^* value of -1.21 ± 0.25 , indicating a greener hue. However, as JSP was added, the a^* values became more positive, showing a shift towards a redder hue. Formulation C had the highest a^* value of 1.89 ± 0.40 , indicating the most pronounced red tint. Significant differences were observed among all formulations ($p < 0.05$), with Formulation C showing the greatest redness compared to the control, which was the least red. The drying process alters the chemical composition of the seeds, leading to a more intense colour that can contribute to increased redness in the final product (Lien et al., 2024).

The b^* values, which represent the degree of yellowness or blueness, ranged from 11.27 ± 0.54 to 18.84 ± 2.52 . The control formulation had the lowest b^* value of 11.27 ± 0.54 , indicating a less yellow colour. As the JSP concentration increased, the b^* value also increased, with Formulation C showing the highest value of 18.84 ± 2.52 , indicating the most yellow hue. Significant differences were found between all formulations ($p < 0.05$), with Formulation C being the most yellow compared to the control. Jackfruit seed powder typically has a yellowish hue, which can enhance the b^* value of food products (Ravindran et al., 2020).

The ΔE values, indicating the total colour difference from the control, were calculated for Formulations A, B, and C. Formulation A (75% corn starch: 25% JSP) had a ΔE of 1.38 ± 0.37 , followed by Formulation B (50% corn starch: 50% JSP) with a ΔE of 1.65 ± 0.26 . The highest ΔE was observed in Formulation C (25% corn starch: 75% JSP), with a value of 2.05 ± 0.83 . Significant differences in ΔE were observed among the formulations ($p < 0.05$), with increasing JSP content leading to a greater colour change from the control. The use of JSP in various formulations has shown that it can maintain or even improve total colour difference when combined with other ingredients effectively (Achinna et al., 2024).

Proximate Composition

Table 4 shows the proximate composition of jackfruit Turkish delight with varying levels of JSP incorporated into the formulation. The moisture content of the jackfruit Turkish delight was not significantly influenced ($p > 0.05$) by the incorporation of jackfruit seed powder (JSP), ranging from 11.16% to 11.37% across all formulations (Table 5). The consistent values suggest that JSP does not markedly alter the water retention capacity





of the product, a valuable property for its potential use as a functional ingredient (Swami et al., 2012). Although Formulation C (25% corn starch: 75% JSP) recorded a slightly lower value (11.16%) compared to the control (11.37%), the overall stability in moisture levels indicates that product shelf life would not be heavily impacted by JSP incorporation.

Ash content showed a gradual increase with the inclusion of JSP, rising from 0.46% in the control to 0.54% in Formulation C. Although the differences were not statistically significant ($p>0.05$), this upward trend reflects the inherent mineral contribution of JSP, as jackfruit seeds are known to be a source of minerals such as potassium, calcium, and magnesium (Ocloo et al., 2010). The findings suggest that JSP can modestly enhance the mineral composition of Turkish delight without negatively affecting its fundamental properties.

The fat content of the Turkish delight remained relatively stable across all formulations, ranging between 0.49% and 0.53%, with no significant differences detected ($p>0.05$) as shown in Table 5. This indicates that the incorporation of jackfruit seed powder (JSP) does not markedly influence the fat profile of the final product. The observed stability aligns with the known composition of jackfruit seeds, which are characterized by their low fat content, thereby positioning JSP as a suitable low-fat ingredient for developing healthier confectionery options (Cheng et al., 2022).

In contrast to the stable fat content, the protein content increased significantly ($p<0.05$) with higher levels of JSP incorporation (Table 5). The protein value rose from 0.48% in the control to 1.59% in Formulation C, with Formulation B (0.98%) showing nearly double the protein content of the control. This dramatic increase highlights the direct nutritional benefit of replacing corn starch with JSP. The results are a direct reflection of the inherently high protein content of jackfruit seeds, confirming that JSP is a valuable ingredient for significantly improving the protein quality of confectionery products (Swami et al., 2012).

Fibre content exhibited the most notable increase, rising from 0.20% in the control to 0.96% in Formulation C ($p<0.05$). This dramatic enhancement confirms the suitability of JSP as an excellent functional ingredient for boosting dietary fibre intake in enriched foods (Ranasinghe et al., 2019). The considerable improvement seen even in Formulation B (0.61%) presents a balanced option for enhancing nutritional value while likely maintaining desirable sensory attributes.

The carbohydrate content exhibited a decreasing trend, falling significantly ($p<0.05$) from 87.00% in the control to 85.22% in Formulation C (Table 5). This reduction is a direct nutritional benefit of partially replacing refined corn starch with JSP, which contributes higher levels of protein and fibre instead of simple carbohydrates. This shift aligns with current food science strategies to create healthier confectionery options by incorporating fruit and vegetable by-products to improve their nutritional profile (Gómez & Martínez, 2018), catering to health-conscious consumers seeking lower-carbohydrate alternatives.

Sensory Acceptance

Table 5 presents the mean sensory acceptance scores for the attributes of jackfruit Turkish delight with varying levels of JSP incorporation. Sensory attributes such as appearance, colour, aroma, chewiness, texture, sweetness, taste, aftertaste, and overall evaluation were evaluated. The data provides insight into how the inclusion of JSP impacts the sensory characteristics. The appearance scores ranged from 5.43 to 6.17, with no significant differences ($p>0.05$) observed between the control and the formulations A and B. However, formulation C, with the highest proportion of JSP (75%), exhibited the lowest appearance score of 5.43, significantly different from the other formulations ($p<0.05$). This may be attributed to the higher amount of JSP, which could impart a more opaque and less visually appealing appearance compared to the translucent control, as the incorporation of alternative flours often alters the surface properties and light transmission of gels (Jan et al., 2018).

Colour scores ranged from 5.22 to 6.23, with the control formulation scoring the highest (6.23) and formulation C scoring the lowest (5.22). While there were no significant differences between the control, formulations A, and B ($p>0.05$), the addition of JSP in formulation C caused a significant reduction in the colour score ($p<0.05$). This can be directly attributed to the natural, often darker, colour of jackfruit seed powder, which alters the product's overall colour when incorporated at high concentrations, leading to a less bright and desirable hue compared to the control made with pure corn starch (Waghmare et al., 2019).

The aroma scores ranged from 5.17 to 6.20, with the control formulation having the highest score of 6.20. Similar to colour, the control formulation was rated higher for aroma, while formulation C had the lowest score (5.17). No significant differences were observed between the control and other formulations except for formulation C ($p<0.05$). The decrease in aroma score for formulation C is likely due to the distinct and potentially strong aroma imparted by JSP, which might overpower the delicate, pleasant aromas typically expected from a traditional Turkish delight, a phenomenon observed when strong-flavoured novel ingredients are used at high levels (Ngwere & Mongi, 2021).

Chewiness scores showed a range from 4.72 to 6.07, with formulation C receiving the lowest score (4.72), which was significantly different from all other formulations ($p<0.05$). The control formulation, along with formulations A and B, scored higher in chewiness, indicating that the addition of JSP at higher levels may alter the texture of the product, making it less chewy. This is likely because JSP dilutes the corn starch network





responsible for the characteristic chewy, elastic texture of Turkish delight, as the functional properties of composite flours directly influence the final product's texture (Mukprasirt & Sajjaanantakul, 2004).

The texture scores ranged from 4.33 to 6.28, with the control formulation scoring the highest (6.28) and formulation C the lowest (4.33) of texture. Significant differences were observed between the control and the other formulations ($p < 0.05$), with formulation C exhibiting the softest texture. The incorporation of higher levels of JSP may have reduced the product's firmness, likely due to the lower gelatinising ability and different starch and fibre composition of JSP compared to pure corn starch, which is critical for forming the firm, yet tender gel structure of a high-quality Turkish delight (Gómez & Martínez, 2018).

Sweetness scores ranged from 4.62 to 5.82, with the control formulation receiving the highest score (5.82) and formulation C the lowest (4.62). The data revealed no significant differences between the control and the other formulations in terms of sweetness ($p > 0.05$). This indicates that the sweetness level was primarily governed by the added sucrose in the recipe, which is a potent sweetener that can mask minor variations in flavour contributed by other ingredients (Gómez & Martínez, 2018). The stability of the sweetness score across formulations is a positive finding, as it suggests that JSP can be added without creating an undesirable sweet or non-sweet taste imbalance.

Taste scores ranged from 4.97 to 6.23, with the control formulation again scoring the highest (6.23) and formulation C scoring the lowest (4.97). There were no significant differences in taste between the control, formulation A, and formulation B ($p > 0.05$), but formulation C exhibited a significant difference ($p < 0.05$). This reduction is likely due to the inherent flavour of JSP, which can introduce distinct, and at high concentrations, less preferred taste notes that alter the clean, sweet profile of the traditional product (Ranasinghe et al., 2019). This demonstrates that while moderate levels of JSP are acceptable, high levels can detrimentally affect the primary flavour.

Aftertaste scores ranged from 4.73 to 5.92, with formulation C receiving the lowest score (4.73) and the control formulation scoring the highest (5.92). Similar to taste, there was no significant difference between the control, formulation A, and formulation B ($p > 0.05$), while formulation C showed a significant difference ($p < 0.05$). This suggests that the compounds responsible for the distinct flavour of JSP persist in the mouth, creating a lingering sensation that overshadows the clean finish of the control. The presence of such persistent off-flavours or astringent notes is a common sensory challenge when incorporating seed-based flours into refined confectionery products (Ngwere & Mongi, 2021).

The overall acceptance scores ranged from 4.97 to 6.37, with the control formulation scoring the highest (6.37) and formulation C the lowest (4.97). Significant differences were observed between the control and formulation C ($p < 0.05$). The overall acceptance of the jackfruit Turkish delight was most positively affected by colour, aroma, and texture, with the control formulation scoring the highest in these attributes. Formulation C, which contained the highest level of JSP, was the least accepted, likely due to the negative effects of JSP on texture, aftertaste, and overall flavour balance. The incorporation of jackfruit seed flour at the optimum concentration aided in improving the sensory properties of various products (Waghmare et al., 2019).

Conclusion

The incorporation of jackfruit seed powder in Turkish delight significantly enhanced its nutritional profile by increasing protein and fibre content, resulting in a more stable and healthier product. Among the formulations tested, Formulation B (50% corn starch and 50% jackfruit seed powder) was the most preferred by the sensory panel due to its balanced texture, flavour, and overall acceptability, demonstrating that nutritional improvement can be achieved without compromising product quality. These findings highlight the potential of jackfruit seed powder as a valuable functional ingredient in confectionery products. For future research, studies on antioxidant activity and total phenolic content are recommended to further explore its functional benefits, along with shelf-life and microbial stability evaluations to determine storage suitability and commercial viability.

Declarations

Ethical Approval Certificate

This study did not involve human participants or animals, and all experimental procedures were limited to food product development; therefore, formal ethical approval was not required.

Author Contribution Statement

Nur Ariff Aiman Bin Mohd Salleh: Data collection, investigation, formal analysis, and writing the original draft.

Fisal Ahmad: Project administration, supervision, conceptualisation, methodology, review, and editing.

Fund Statement

This work received no external funding.

Conflict of Interest





Please The authors have declared that no conflict of interest exists.

Acknowledgments

The authors would like to express their sincere gratitude to Universiti Malaysia Terengganu/Faculty of Food Science and Agrotechnology for providing laboratory facilities and technical support. Special thanks are extended to the academic supervisors and laboratory staff for their valuable guidance, as well as to the sensory evaluation panel members for their participation in the study.

References

- Achinna, P., Malleboina, P., Joshi, A. A., Padmavathi, T., Swaroopa, G., Nikkam, I. T., & Singh, A. (2024). Advancing plant-based meat analogs: Composite blend of pulse protein reinforcing structure with fibrous mushroom, jackfruit seed powder and carboxymethyl cellulose. *Food Science and Technology International*. <https://doi.org/10.1177/10820132241278958>
- Anonymous (2006). *Turkish delight*, Bayco confectionery Inc., Canada, Manufacturer' of authentic Turkish delight. <<http://www.turkish-delight.com/>>.
- AOAC. (2005). *Official methods of analysis* (18th ed.). Association of Official Analytical Chemists.
- Baliga, M. S., Shivashankara, A. R., Haniadka, R., Dsouza, J., & Bhat, H. P. (2011). Erratum to "Phytochemistry, nutritional and pharmacological properties of Artocarpus heterophyllus Lam (jackfruit): A review" [Food Research International 44 (8) (2011) 1800–1811]. *Food Research International*, 44(9), 3123. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.09.001>
- Bangladesh Bureau of Statistics. (2024). *Statistical Yearbook of Bangladesh 2023* (43rd ed.). Statistics and Information Division, Ministry of Planning, Government of the People's Republic of Bangladesh.
- Barbosa, M. C., Silva, G. L., Viana, E. B. M., Bonomo, R. C. F., Rodrigues, L. B., & Veloso, C. M. (2023). Effect of protein addition in properties of gels produced with jackfruit (*Artocarpus integrifolia*) seed starch: rheological and texture properties. *Journal of Food Science and Technology*, 60(12), 2916–2926. <https://doi.org/10.1007/s13197-023-05793-1>
- Batu, A., & Kirmaci, B. (2009). Production of Turkish delight (lokum). *Food Research International*, 42(1), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.08.007>
- Cheng, M., He, J., Wang, H., Li, C., Wu, G., Zhu, K., Chen, X., Zhang, Y., & Tan, L. (2022). Comparison of microwave, ultrasound and ultrasound-microwave assisted solvent extraction methods on phenolic profile and antioxidant activity of extracts from jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) pulp. *LWT*, 173, 114395. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114395>
- Corley, H. (2007). Fruits for the Future 10. Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*). By N. Haq. Southampton, UK: Southampton Centre for Underutilised Crops (2006), pp. 192, available free on request to national scientists of developing countries. ISBN 0854328394. *Experimental Agriculture*, 43(3), 407–408. <https://doi.org/10.1017/s0014479707005194>
- Dey, N. N. (2017). Effect of Nutritional, Sensory and Texture Properties of Jackfruit Seed (&i&tArtocarpus Heterophyllus Lam.&i&t) Flour Burfi. *International Journal of Science and Qualitative Analysis*, 3(4), 42. <https://doi.org/10.11648/j.ijsqa.20170304.12>
- Dogan, M., Aslan, D., & Miano, F. T. (2020). Textural Characteristics of Traditional Turkish Foods. In K. Nihinari (Ed.), *Textural Characteristics of World Foods* (pp. 53-68). John Wiley & Sons Ltd.
- Doyuran, S. D., Gültekin, M., & Güven, S. (2004). Geleneksel Gıdalardan Lokum Üretimi ve Özellikleri. In *Geleneksel Gıdalar Sempozyumu*, 23-24 Eylül 2004, Van (pp. 334–342).
- Eke-Ejiofor, J., Beleya, E.A. and Onyenorah, N.I. (2014). The effect of processing methods on the functional and compositional properties of jackfruit seed flour. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 3(3): 166-173. <https://doi.org/10.11648/j.ijnfs.20140303.15>
- Fabil, M., Dubey, P. K., Roy, S., & Sharma, M. (2024). Jackfruit seed Valorization: A comprehensive review of nutritional potential, value addition, and industrial applications. *Food and Humanity*, 100406. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100406>
- Goh, S. X., Mamat, H., & Aziz, A. H. A. (2024). Valorization of agriculture by-product: Development of gluten-free biscuit made from blends of okara and jackfruit seed flour. *Waste Management Bulletin*, 2(2), 59–65. <https://doi.org/10.1016/j.wmb.2024.03.004>
- Gómez, M., & Martinez, M. M. (2018). Fruit and vegetable by-products as novel ingredients to improve the nutritional quality of baked goods. *Critical reviews in food science and nutrition*, 58(13), 2119–2135. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1305946>
- Hanoğlu, A., Karaoğlu, M. M., & Bedir, Y. (2023). The effect of carob, orange and carrot pulps on physical, chemical and microbiological properties of Turkish delight. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 32, 100709. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2023.100709>
- Hossain, M. T. (2014). Development and Quality Evaluation of Bread Supplemented with Jackfruit Seed Flour. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 3(5), 484. <https://doi.org/10.11648/j.ijnfs.20140305.28>
- Ibrahim, S. G., Ibadullah, W. Z. W., Saari, N., & Karim, R. (2022). Quality improvement of kenaf-based tofu: effects of kenaf seed substitution, and coagulant types and concentrations on the physicochemical quality, texture profile and microstructure of the tofu. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(7), 4096–4106. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15725>
- Jan, K. N., Panesar, P., & Singh, S. (2018). Optimization of antioxidant activity, textural and sensory characteristics of gluten-free cookies made from whole indian quinoa flour. *LWT*, 93, 573–582. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.013>





- Kamal, M. M., Chowdhury, M. G. F., Shishir, M. R. I., Sabuz, A. A., Islam, M. M., & Khan, M. H. H. (2023). Impacts of drying on physicochemical properties, bioactive compounds, antioxidant capacity, and microstructure of jackfruit seed flour. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04763-z>
- Lien, D. T. P., Loan, B. T., Thanh, D. K., Que, P. T. T., & Tri, N. M. (2024). Effects of roasting on the quality of roasted jackfruit seed powder [pdf]. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 357–369. <https://doi.org/10.17306/j.afs.001238>
- Lin, X., Feng, C., Lin, T., Harris, A. J., Li, Y., & Kang, M. (2022). Jackfruit genome and population genomics provide insights into fruit evolution and domestication history in China. *Horticulture Research*, 9. <https://doi.org/10.1093/hr/uhac173>
- Maurya, P., & Mogra, R. (2016). Assessment of consumption practices of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* lam.) seeds in villages of Jalalpur block district Ambedarnagar (U.P.) India. *Remarking*, 2, 73-75.
- Mohammed, S., Dubey, P. K., Mishra, A. A., & Rahman, S. (2024). Valorisation of jackfruit seed flour in extrusion and bakery products: a review. *Food Science and Biotechnology*, 33(14), 3167–3180. <https://doi.org/10.1007/s10068-024-01665-2>
- Mufarikha, K., Swasono, M. a. H., & Utomo, D. (2021). Pengaruh proporsi biji nangka (*Artocarpus heterophyllus* L.) dan kacang hijau (*Phaseolus radiatus* L.) pada pembuatan sosis nabati. *Teknologi Pangan Media Informasi Dan Komunikasi Ilmiah Teknologi Pertanian*, 12(1), 140–153. <https://doi.org/10.35891/tp.v12i1.2467>
- Mukprasirt, A., & Sajjaanantakul, K. (2004). Physico-chemical properties of flour and starch from jackfruit seeds (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) compared with modified starches. *International Journal of Food Science & Technology*, 39(3), 271–276. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.00781.x>
- Nasaruddin, F., Chin, N. L., & Yusof, Y. A. (2012). Effects of Processing on Instrumental Textural Properties of Traditional Dodol Using Back Extrusion. *Internatioal Journal of Food Properties*, 15(3), 495-506. [doi:10.1080/10942912.2010.49193](https://doi.org/10.1080/10942912.2010.49193)
- Ngwere, S. S., & Mongi, R. J. (2021). Nutritional composition, sensory profile and consumer acceptability of Wheat-Jackfruit seed composite buns. *Tanzania Journal of Science*, 47(3), 1154–1164. <https://doi.org/10.4314/tjs.v47i3.24>
- Ocloo, F., Bansa, D., Boatın, R., Adom, T., & Agbemavor, W. (2010). Physico-chemical, functional and pasting characteristics of flour produced from Jackfruits (*Artocarpus heterophyllus*) seeds. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1(5), 903–908. <https://doi.org/10.5251/abjna.2010.1.5.903.908>
- Öz, P., Arun, Ö. Ö., & Aksu, H. (2024). Production techniques and product characteristics of “Kaymak” produced in Türkiye. *Journal of Istanbul Veterinary Sciences*, 8(1), 32–38. <https://doi.org/10.30704/http-www-jivs-net.1409670>
- Ozdemir, F., & Akinci, I. (2004). Physical and nutritional properties of four major commercial Turkish hazelnut varieties. *Journal of Food Engineering*, 63(3), 341–347. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.08.006>
- Ranasinghe, R. a. S. N., Maduwanthi, S. D. T., & Marapana, R. a. U. J. (2019). Nutritional and health benefits of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.): a review. *International Journal of Food Science*, 2019, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2019/4327183>
- Ravindran, A., Raman, M., Babu, N., Dinakaran, A., Sankar, T. V., & Gopal, T. K. S. (2020). Diet Chocolates and Replacement of Cocoa Powder with Jackfruit Seed Powder. *Food and Nutrition Sciences*, 11(03), 220–233. <https://doi.org/10.4236/fns.2020.113017>
- Ruiz-Montañez, G., Burgos-Hernández, A., Calderón-Santoyo, M., López-Saiz, C., Velázquez-Contreras, C., Navarro-Ocaña, A., & Ragazzo-Sánchez, J. (2014). Screening antimutagenic and antiproliferative properties of extracts isolated from Jackfruit pulp (*Artocarpus heterophyllus* Lam). *Food Chemistry*, 175, 409–416. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.122>
- Spada, F. P., Mandro, G. F., Da Matta, M. D., & Canniatti-Brazaca, S. G. (2020). Functional properties and sensory aroma of roasted jackfruit seed flours compared to cocoa and commercial chocolate powder. *Food Bioscience*, 37, 100683. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100683>
- Swami, S. B., Thakor, N. J., Haldankar, P. M., & Kalse, S. B. (2012). Jackfruit and its many functional components as related to human health: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11(6), 565–576. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2012.00210.x>
- Waghmare, R., Memon, N., Gat, Y., Gandhi, S., Kumar, V., & Panghal, A. (2019). Jackfruit seed: an accompaniment to functional foods. *Brazilian Journal of Food Technology/Brazilian Journal of Food Technology*, 22. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.20718>





Risking the harvest: Vegetable farmers perspectives on heavy metal contamination from wastewater irrigation in Tamale Metropolis, Ghana

Ammal Abukari¹

¹Department of Forestry and Forest Resources Management, Faculty of Natural Resources and Environment, University for Development Studies, Tamale, Ghana

Abstract

The paucity of empirical studies on vegetable farmers perception of heavy metal contamination is striking, especially given the growing concerns about food safety and environmental conservation. This study bridges this gap by investigating vegetable farmers perception of heavy metal contamination from wastewater irrigation in Tamale Metropolis, Ghana. Data were collected through multistage sampling from 70 vegetable farmers in Tamale Metropolis, Ghana. The study employed perception indices to assess farmers perception of heavy metal contamination. An ordered logit regression model was also employed to determine the socioeconomic determinants of farmers perception of heavy metal contamination in the area. The findings show that farmers have moderate perception of heavy metal contamination. They expressed strong concern about heavy metals in agrochemicals, citing risk of bioaccumulation, long-term health effects, and environmental pollution. Factors influencing farmers perception levels included age, education, credit access, participation in farmer-based association, agrochemical use, and training on handling agrochemicals. The study recommends implementing comprehensive educational programs, strengthening regulatory framework, improving farmers access to resources, and promoting sustainable agricultural practices to address the challenges of heavy metal contamination from wastewater irrigation. These findings offer valuable insights for policymakers and stakeholders to enhance food safety and sustainability in sub-Saharan Africa.

Key Words: *Farmers perception, Vegetables, Heavy metals, Contamination, Industrial area, Lamashegu*





Quantifying Climate Sensitivity of Apple Orchard Vigor Using Sentinel-2 NDVI and Lagged Meteorological Variables

Ali Kaan Yetik^{1*}, Burak Şen¹

¹Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Agricultural Sciences and Technologies, Department of Biosystems Engineering, 51120, Niğde, Türkiye.

Abstract

Understanding the extent to which short-term climatic variability regulates orchard canopy dynamics is essential for climate-responsive irrigation management in semi-arid regions. This study quantified intra-seasonal canopy vigor dynamics in a commercially managed, drip-irrigated apple orchard located in Niğde Province, Central Anatolia, Türkiye. Sentinel-2 surface reflectance imagery was processed to derive 15-day NDVI composites for the 2023 growing season, and monthly spatial NDVI maps were generated to evaluate intra-parcel heterogeneity. Concurrent meteorological data were aggregated into 15-day intervals, and lagged climatic variables were incorporated into a multiple linear regression framework. The regression model explained 74% of intra-seasonal NDVI variability ($R^2=0.74$, $p<0.001$). Lagged mean air temperature exhibited a strong positive effect on canopy vigor ($\beta=0.0131$, $p<0.001$), whereas lagged solar radiation showed a statistically significant negative association ($\beta=-0.0275$, $p=0.015$). Model diagnostics indicated no substantial residual autocorrelation (Durbin Watson=1.66). Spatial analysis further revealed persistent intra-orchard heterogeneity despite uniform irrigation practices. Results demonstrate that even under continuous drip irrigation, canopy vigor dynamics remain strongly governed by atmospheric forcing. The integration of satellite-based vegetation monitoring with lagged climatic indicators provides a robust framework for evaluating orchard climate sensitivity and supporting adaptive irrigation scheduling. This approach contributes to sustainable water resource management in perennial fruit production systems under increasing climatic variability.

Key Words: Atmospheric Demand, Lag Analysis, Niğde, Remote Sensing, Semi-Arid





Remote Sensing-Based Evaluation of Vegetation Condition and Drought-Related Spatial Dynamics in Bursa Province, Türkiye

Ali Kaan Yetik¹

¹Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Agricultural Sciences and Technologies, Department of Biosystems Engineering, 51120, Niğde, Türkiye.

Abstract

This study assessed vegetation condition and drought dynamics in Bursa Province, northwestern Türkiye, using Sentinel-2-derived annual NDVI and VCI products for 2017-2025. Sentinel-2 Surface Reflectance Harmonized imagery was processed in Google Earth Engine, where cloud-contaminated pixels were masked and annual median NDVI composites were generated. VCI was calculated from pixel-based long-term NDVI minimum and maximum values, and annual NDVI and VCI maps were produced for spatial analysis. In addition, annual mean NDVI and VCI values and drought-class area percentages were derived from raster outputs. The results revealed clear interannual variability in vegetation conditions across Bursa. Annual mean NDVI ranged from 0.52 in 2017 to 0.55 in 2021, while annual mean VCI varied between 61.06 and 63.74. The maps also showed that vegetation stress was spatially heterogeneous across the province. Overall, drought and vegetation stress in Bursa did not follow a monotonic trend but fluctuated between relatively favorable and unfavorable years. These findings demonstrate that Sentinel-2-based NDVI and VCI products provide an effective framework for monitoring provincial-scale vegetation variability and drought conditions and can support irrigation planning and water-resources management.

Key Words: NDVI, semi-arid, Sentinel-2, vegetation condition index, VCI

Introduction

Drought is one of the most critical environmental hazards affecting terrestrial ecosystems, agricultural production, and water-dependent landscapes (Lesk et al., 2016). Its impacts have become increasingly pronounced under climate change, rising temperatures, and irregular precipitation regimes, particularly in regions characterized by seasonal water stress and strong interannual variability (Yetik and Candoğan, 2025). Because drought develops gradually and affects vegetation, soil moisture, and ecosystem productivity over broad spatial extents, continuous monitoring is essential for sustainable land management, irrigation planning, and regional water-resources management.

Conventional drought assessment has largely relied on meteorological observations (Kesgin et al., 2024). Although station-based measurements are indispensable, they are often limited in spatial representativeness, especially when the objective is to evaluate the spatial heterogeneity of vegetation stress over large administrative units. Remote sensing has therefore become a widely adopted approach for drought monitoring because it provides repetitive, synoptic, and spatially explicit observations of land surface conditions. In this context, Sentinel-2 offers a major advantage due to its high spatial resolution and short revisit period. As noted in a recent review, Sentinel-2 provides 10 m to 60 m spatial resolution and a combined revisit time of 5 days, making it highly suitable for detailed drought-related analyses at regional and sub-regional scales (Varghese et al., 2021).

Among remote sensing indicators, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) is one of the most widely used measures of vegetation greenness and vigor. NDVI was originally introduced by Tucker (1979), who demonstrated the sensitivity of red and near-infrared band combinations to photosynthetically active vegetation. Because healthy vegetation strongly absorbs red radiation and reflects near-infrared radiation, NDVI provides a simple yet robust measure of vegetation condition. However, absolute NDVI values alone may not fully capture the relative degree of vegetation stress from year to year. For that reason, the Vegetation Condition Index (VCI), introduced by Kogan (1995), has been widely used to express vegetation condition relative to long-term minimum and maximum NDVI conditions, thereby enabling the interpretation of drought severity in a normalized form.

A substantial body of literature has demonstrated the usefulness of NDVI- and VCI-based drought assessment in different climatic and ecological settings. Varghese et al. (2021) reviewed the potential of Sentinel-2 for drought studies and emphasized its value for detecting drought-driven land surface changes through vegetation, soil moisture, evapotranspiration, and water-related indicators. In Türkiye, Dikici and Aksel (2021) evaluated NDVI and VCI over the Asi Basin and reported that both indices are informative for agricultural drought assessment, while also highlighting the importance of regional interpretation. Similarly, Dikici (2022) analyzed drought conditions in the Seyhan Basin using vegetation indices and meteorological drought indicators, showing that NDVI and VCI remain practical and effective tools for basin-scale drought monitoring. More recently, Uyar (2025) applied a Google Earth Engine workflow integrating Sentinel-2, Landsat 8, and MODIS data for the 2017-2023





period, using annual NDVI and VCI maps to assess drought conditions and vegetation dynamics. These studies collectively indicate that satellite-based vegetation indices are operationally effective for evaluating drought intensity and vegetation response across time.

Despite the increasing number of remote sensing drought studies, province-scale assessments based on high-resolution Sentinel-2 data remain limited for northwestern Türkiye. Bursa constitutes a particularly relevant case because it includes heterogeneous topographic, climatic, and land-cover conditions, ranging from forested mountainous areas to lowland agricultural and peri-urban landscapes. Such spatial diversity makes Bursa an appropriate study area for evaluating interannual vegetation variability and drought patterns using spatially explicit satellite indicators. A province-wide analysis is also useful for identifying years with relatively favorable vegetation conditions as well as years marked by broader vegetation stress.

In this context, the present study aims to assess vegetation health and drought dynamics in Bursa Province using Sentinel-2-derived NDVI and VCI for the 2017-2025 period. Annual NDVI and VCI maps were generated to characterize the spatial distribution of vegetation condition and to identify interannual changes across the province. The study is expected to contribute to regional drought monitoring and to demonstrate the applicability of cloud-based satellite image processing for practical environmental assessment, including irrigation-related planning and water-resources evaluation.

Materials and Methods

Study Area

This study was carried out for Bursa Province, located in northwestern Türkiye (Figure 1). Bursa is characterized by marked topographic, climatic, and land-cover heterogeneity, including mountainous forested areas, lowland agricultural plains, peri-urban zones, and water-related landscapes. Such spatial complexity makes the province suitable for examining interannual vegetation variability and drought conditions at the provincial scale. In the present study, the administrative boundary of Bursa was used as an analysis extent, and all satellite-based processing, mapping, and raster-based statistical evaluations were constrained to this boundary.

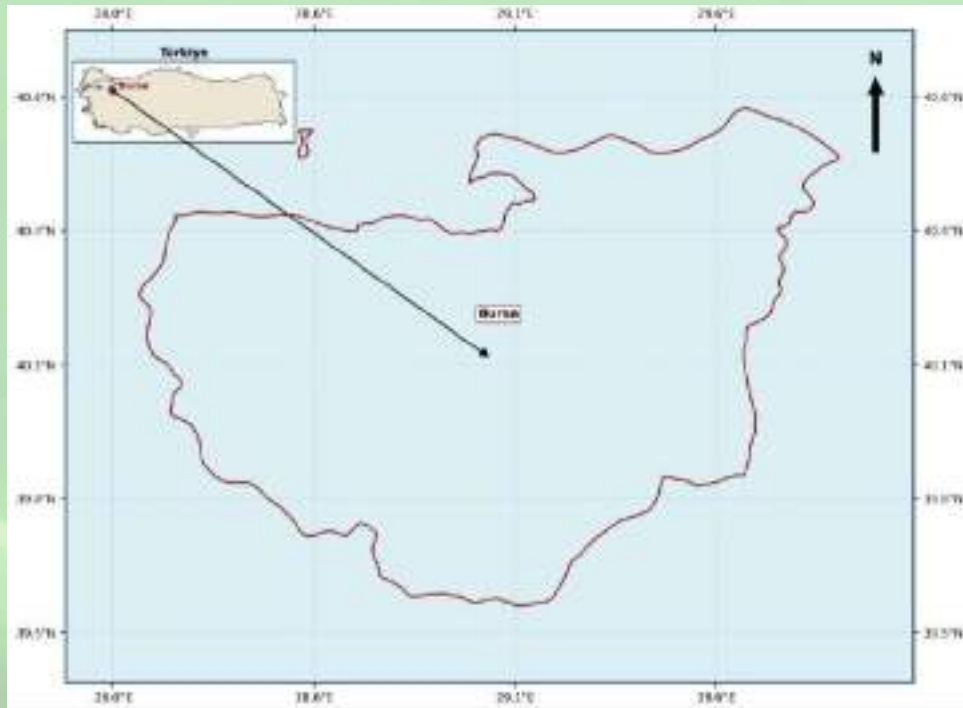


Figure 1. Study site.

Satellite Data and Processing Environment

The analysis was based on Sentinel-2 Surface Reflectance Harmonized imagery accessed through Google Earth Engine. Google Earth Engine provides a cloud-based platform for large-scale geospatial processing and enables the efficient handling of satellite image archives for time-series analysis (Gorelick et al., 2017). Sentinel-2 imagery was preferred because of its relatively high spatial resolution and short revisit interval, which make it particularly suitable for regional drought and vegetation monitoring studies (Drusch et al., 2012; Varghese et al., 2021). The study period covered the years from 2017 to 2025, and the red (Band 4) and near-infrared (Band 8) bands were used in the calculation of vegetation indices.





Image Pre-processing and Annual Composite Generation

All Sentinel-2 scenes intersecting the Bursa boundary were filtered in Google Earth Engine for the 2017-2025 period. In order to reduce atmospheric contamination and cloud-induced noise, a cloud and cloud-shadow masking procedure was applied using the Scene Classification Layer (SCL). Pixels classified as cloud shadow, cloud-contaminated areas, cirrus, and snow were excluded from the analysis. After masking, annual composites were generated for each year. To reduce the influence of residual outliers and unstable observations, the annual NDVI product for each year was derived using a median compositing approach. This procedure resulted in one annual NDVI raster for each year between 2017 and 2025.

NDVI and VCI Calculation

Vegetation condition was evaluated using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), one of the most widely used indicators of vegetation greenness and vigor in remote sensing studies. NDVI was originally proposed by Tucker (1979) and is defined in Equation 1.

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red) \quad (1)$$

where NIR represents Sentinel-2 Band 8 and Red represents Sentinel-2 Band 4. Higher NDVI values indicate denser and healthier vegetation, whereas lower values generally correspond to sparse vegetation, stressed vegetation, or non-vegetated surfaces.

In addition to NDVI, the Vegetation Condition Index (VCI) was used to assess the relative vegetation stress condition of each pixel. VCI was developed by Kogan (1995) and expresses the position of a current NDVI value within its long-term range. In this study, VCI was calculated for each annual NDVI raster using pixel-based minimum and maximum NDVI values derived from the full 2017-2025 period according to the Equation 2.

$$VCI = [(NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min})] \times 100 \quad (2)$$

This normalization enables drought severity to be interpreted relative to the local historical variability of vegetation conditions. The resulting VCI values were classified into five drought-related categories: 0-20 (extreme drought), 20-40 (severe drought), 40-60 (moderate drought), 60-80 (light drought), and 80-100 (no drought).

Raster Export, Mapping, and Statistical Evaluation

Annual NDVI and VCI outputs were exported from Google Earth Engine as GeoTIFF files at 10 m spatial resolution. These raster products were subsequently imported into QGIS for cartographic layout preparation. To maintain visual consistency among years, the same legend structure and color classification scheme were applied across all annual maps.

Beyond visual interpretation, a raster-based statistical evaluation was also conducted. For each annual NDVI and VCI raster, mean values were calculated using all valid pixels within the Bursa boundary. In addition, the proportional extent of each VCI class was computed for every year. Particular emphasis was placed on the percentage of pixels with VCI < 40, representing the combined extent of extreme and severe drought conditions, and the percentage of pixels with VCI ≥ 80, representing areas with no drought condition. These statistics were used to quantitatively compare interannual changes in vegetation health and drought severity across the province.

Methodological Framework

The overall methodological framework of the study consisted of defining the Bursa provincial boundary as the area of interest, acquiring and preprocessing Sentinel-2 imagery in Google Earth Engine, generating annual NDVI composites, calculating pixel-based VCI values from the long-term NDVI range, exporting annual raster outputs, and evaluating both map-based and raster-derived statistical results (Figure 2). In this way, the study integrated spatial visualization with numerical assessment in order to characterize vegetation dynamics and drought conditions in Bursa during the 2017-2025 period.



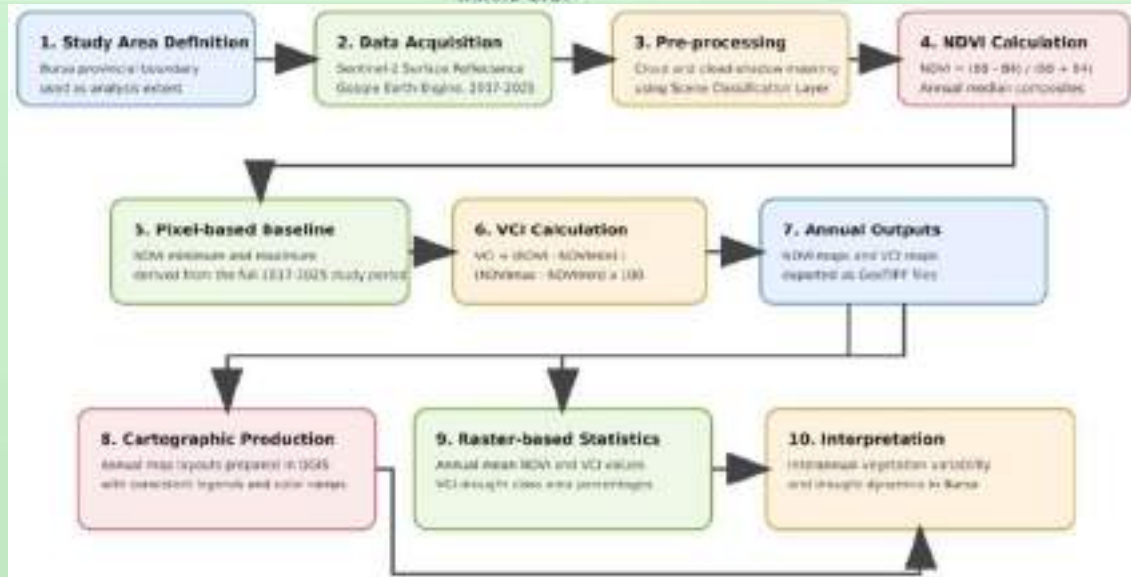


Figure 2. Methodological workflow of the study.

Results and Discussion

The annual NDVI and VCI maps produced for Bursa Province for the 2017-2025 period reveal clear interannual variability in vegetation condition and drought severity, even though the overall provincial-scale signal remains within a moderate range. Taken together, the map series and raster-derived statistics indicate that the study period was characterized not by a monotonic deterioration, but by alternating years of relative vegetation recovery and renewed stress. This pattern is consistent with the nature of vegetation-based drought indicators, which are generally effective in capturing broad spatio-temporal changes in plant condition, but which also reflect the combined influence of climate, phenology, land-cover composition, and local ecological variability (Kogan, 1995; Varghese et al., 2021).

Interannual Variation in NDVI

The annual NDVI maps presented in Figure 3 indicate moderate but meaningful year-to-year fluctuations in the vegetation condition of Bursa Province. Annual mean NDVI values ranged from 0.52 in 2017 to 0.55 in 2021, showing that the highest vegetation greenness during the study period occurred in 2021, followed by relatively favorable conditions in 2022 (0.54) and 2023 (0.54). In contrast, the lowest mean NDVI values were observed in 2017 (0.52), 2019 (0.53), and 2024 (0.53), suggesting that these years experienced comparatively reduced vegetation vigor at the provincial scale.

Figure 3 also shows that this variability was spatially structured rather than uniform. In most years, the northern and northeastern sectors of the province tended to preserve relatively higher NDVI values, while lower values were more evident in the central, western, and southern parts of the province. The general visual pattern suggests that topography, vegetation density, and local land-cover composition influenced the annual NDVI response. The comparatively greener appearance of 2021-2023 in Figure 3 is fully consistent with the statistical summary, whereas the paler and more fragmented NDVI patterns visible in 2017 and again in 2024-2025 reflect weaker vegetation conditions. These findings are in line with the broader literature on Sentinel-2-based drought and vegetation monitoring. Varghese et al. (2021) emphasized that Sentinel-2 is particularly suitable for drought-related vegetation analysis because its spatial and temporal resolution allows the detection of relatively fine-scale land-surface changes. Similarly, West et al. (2018) showed that Sentinel-2-derived NDVI can reflect moisture-related vegetation response more effectively than coarser multispectral systems in several environments, particularly when vegetation cover is sufficiently developed. In this context, the annual NDVI maps of Bursa appear to provide a stable and interpretable representation of province-scale vegetation dynamics.

Studies conducted in Türkiye also support the interpretation of the present NDVI results. In Bursa, Dedeoğlu et al. (2019) demonstrated that Sentinel-2A-derived vegetation indices were sensitive to spatial differences in land productivity conditions, indicating that Sentinel-2-based spectral metrics can successfully reflect land-surface variability at the provincial scale. Similarly, Karabulut et al. (2021) showed that Sentinel-2A NDVI time series effectively captured crop phenology in Kırklareli, confirming the value of NDVI for monitoring vegetation dynamics under Turkish environmental conditions. Civelek et al. (2025) also showed that NDVI thresholds derived from Sentinel-2 imagery and implemented in Google Earth Engine were effective for identifying wheat and barley cultivated areas in Çanakkale. Although these studies were not designed specifically as drought investigations, they collectively confirm that Sentinel-2-derived NDVI products are highly responsive to vegetation development





and spatial variability under Turkish agro-ecological conditions. Therefore, the Bursa NDVI maps can be considered not only visually consistent but also methodologically comparable with previous Sentinel-2-based vegetation studies from Türkiye.

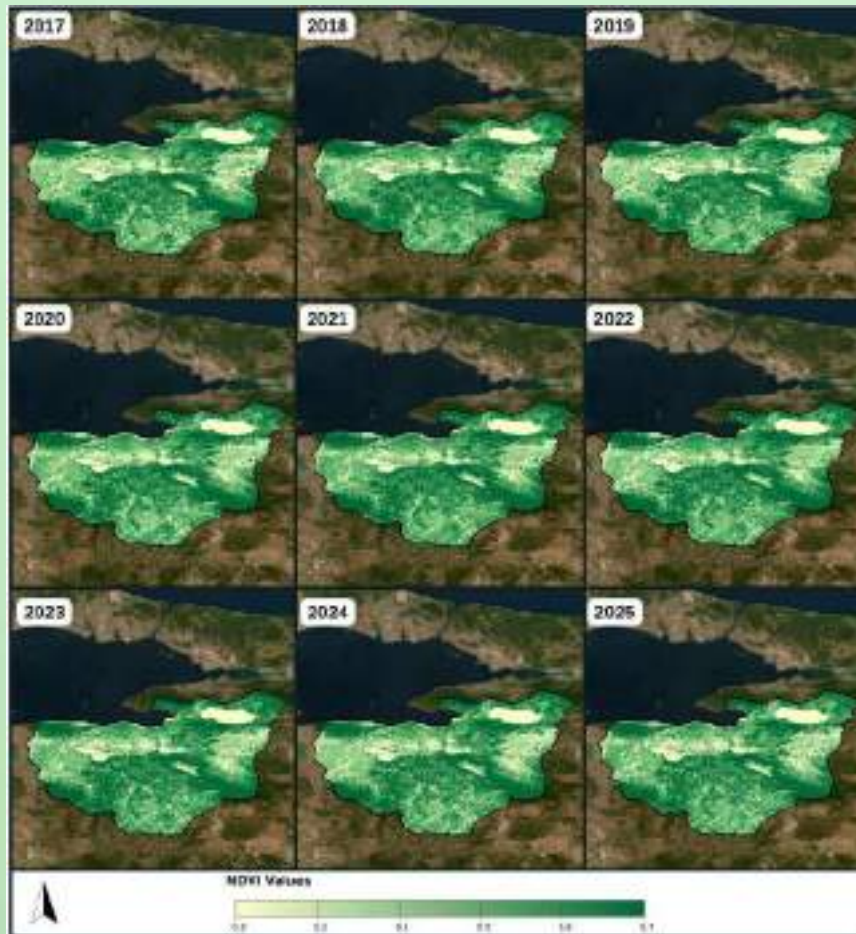


Figure 3. Annual NDVI maps of Bursa Province derived from Sentinel-2 imagery for the 2017-2025 period.

However, the provincial NDVI signal should be interpreted carefully. Because the present analysis covers the entire administrative area of Bursa rather than a cropland-only mask, the results reflect integrated vegetation behavior across forests, agricultural lands, shrub-dominated areas, mixed natural covers, and other land uses. As a result, NDVI changes in this study should be interpreted primarily as province-wide vegetation condition changes, rather than as crop-specific productivity changes. This distinction is important, because in heterogeneous landscapes the same annual NDVI value may reflect different ecological processes in different parts of the province.

Interannual Variation in VCI and Drought Classes

The annual VCI maps presented in Figure 4 further clarify the drought-related dimension of the observed vegetation changes. Annual mean VCI values ranged from 61.06 in 2017 to 63.74 in 2021. These values indicate that, at the province-wide average, Bursa generally remained within the moderate to relatively favorable vegetation-condition range throughout the study period. In other words, the annual signal does not suggest persistent province-wide extreme drought; instead, it indicates fluctuating but mostly moderate vegetation stress conditions. This interpretation is supported by the class-based area statistics derived from the VCI raster. The proportion of the province affected by the combined extreme and severe drought classes ($VCI < 40$) was highest in 2017 (21.23%), declined substantially in 2018 (15.25%), remained relatively low in 2021 (15.13%), and then increased again in 2024 (19.51%) and 2025 (19.66%). Accordingly, 2021 can be regarded as the most favorable year in the series from the perspective of combined NDVI and VCI behavior, whereas 2017 stands out as the most stressed year. The renewed increase in drought-affected areas during 2024-2025 suggests a deterioration following the relatively favorable 2021-2023 phase.



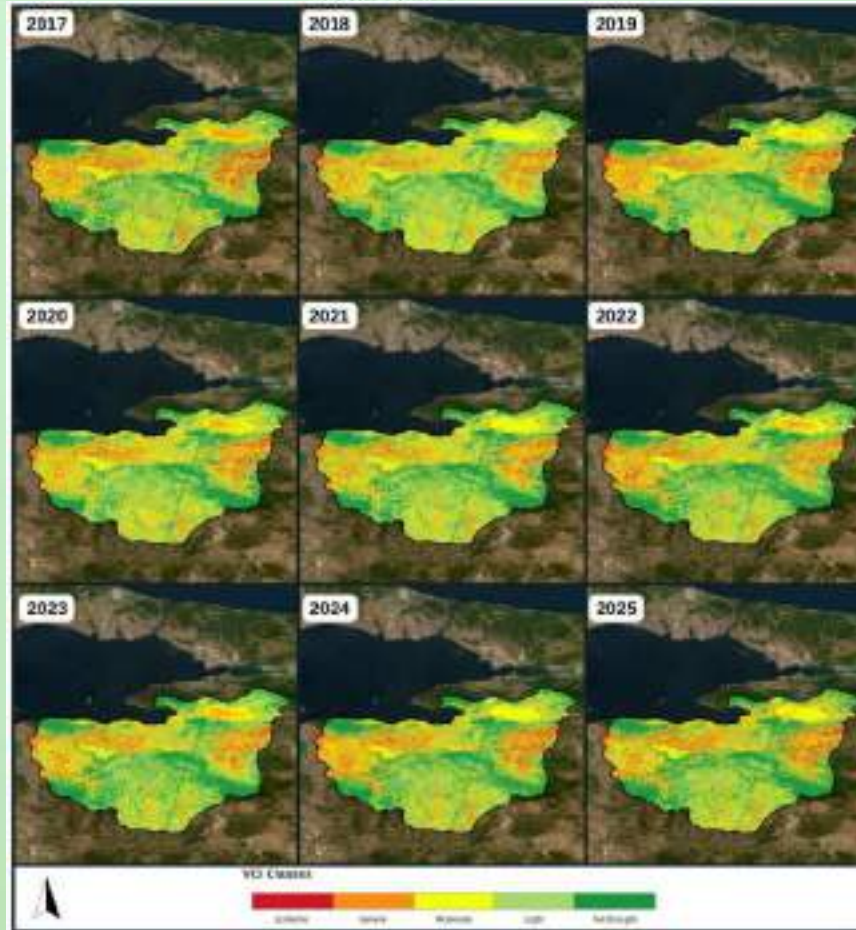


Figure 4. Annual VCI maps of Bursa Province for the 2017-2025 period.

Figure 4 also reveals pronounced spatial heterogeneity in drought intensity. In 2017, orange and red zones were more widespread, indicating broader vegetation stress across substantial parts of the province. In contrast, 2021 exhibits a visibly larger proportion of green-toned areas, consistent with its high mean VCI and low drought-affected area percentage. The 2024 and 2025 maps in Figure 4 show a return of more fragmented but spatially expanded stress zones, indicating that vegetation stress re-emerged after the 2021-2023 recovery interval. Thus, the maps and statistics jointly indicate that the Bursa case is best described as a sequence of interannual fluctuations rather than a simple linear trend.

An important feature of the 2025 result is the coexistence of relatively high drought-affected area and a high proportion of the no-drought class. The percentage of $VCI \geq 80$ reached 28.75% in 2025, which is the highest value in the series, while $VCI < 40$ simultaneously remained high at 19.66%. This indicates strong spatial polarization in vegetation conditions, meaning that favorable and unfavorable conditions co-occurred across different parts of the province. Therefore, the 2025 pattern should not be interpreted as a uniformly good year or a uniformly bad year; rather, it reflects marked within-province heterogeneity. The predominance of moderate, light, and no-drought classes over the extreme class is also notable. Across the full study period, the extreme drought class remained relatively limited to an area extent, ranging from 2.66% to 4.60%, whereas moderate, light, and no-drought classes accounted for the majority of the mapped area. This outcome resembles findings reported in other VCI-based regional studies. For example, Li et al. (2022) reported that frequent droughts may still be dominated by mild and moderate classes rather than extreme classes when analyzed over broad spatial extents. In the Bursa case, this means that vegetation stress was recurrent, but predominantly moderate in severity at the annual provincial scale.

The general usefulness of NDVI and VCI observed in the present study is consistent with previous drought-monitoring research in Türkiye and elsewhere. Dikici and Aksel (2021), in the Asi Basin, reported that both NDVI and VCI are informative for agricultural drought assessment, while also noting that their performance may vary according to basin characteristics and land-cover composition. Similarly, Dikici (2022), in the Seyhan Basin, concluded that VCI provides a practical means of evaluating vegetation stress relative to long-term vegetation behavior and is therefore valuable for drought monitoring. The present Bursa analysis supports this interpretation. While NDVI maps clearly showed broad differences in annual greenness, VCI added a normalized measure of stress severity and made it easier to identify years such as 2017, 2024, and 2025 as relatively unfavorable in





comparison with 2021-2023. A broader national-scale perspective is provided by Şorman et al. (2018), who analyzed meteorological and agricultural drought variation across Türkiye using VCI together with SPEI. Their results showed that VCI is capable of capturing spatially variable drought behavior across different climatic regions of the country. This is directly relevant to Bursa, because the spatial heterogeneity visible in Figure 4 is consistent with the expectation that vegetation stress in Türkiye is regionally differentiated rather than spatially uniform. More recently, Lakshmi et al. (2025) reported substantial spatial variability in remotely sensed drought indicators across the Antalya Basin and emphasized that vegetation-based drought products are particularly useful for identifying where stress intensifies or weakens over time. The Bursa results show a very similar behavior at the provincial scale: stress does not increase uniformly, but fluctuates spatially and temporally.

At the same time, the present findings highlight an important methodological issue also discussed in the literature: the effect of heterogeneous land cover on VCI interpretation. Faridatul and Ahmed (2020) showed that in heterogeneous environments, traditional VCI may overestimate drought-affected areas because non-vegetated or weakly vegetated surfaces naturally have low NDVI values and may therefore be mapped as stressed zones. This point is directly relevant to Bursa, because the province includes forest, urban, bare, water-related, and mixed land-cover types in addition to agricultural areas. Accordingly, the results presented here should be interpreted as provincial vegetation-condition patterns rather than purely agricultural drought patterns. In this respect, the use of the full provincial boundary is acceptable for a general vegetation-stress assessment, but a cropland mask would be preferable if the objective were strictly agricultural drought mapping.

Interpretation of Temporal Pattern

When the annual NDVI and VCI statistics are read together, the temporal behavior of Bursa during 2017-2025 can be summarized in three phases. The first phase is represented by 2017, which appears as the most stressed year of the series, with the lowest NDVI mean, the lowest VCI mean, and the highest drought-affected area. The second phase covers 2018-2020, during which the province generally recovered from the 2017 condition but still exhibited noticeable year-to-year oscillation. The third phase includes 2021-2023, when vegetation conditions improved and drought-affected areas declined, followed by a renewed weakening in 2024-2025.

This temporal sequence does not support a straightforward statement that drought continuously increased throughout the entire period. Instead, it supports a more defensible interpretation: drought and vegetation stress in Bursa fluctuated considerably from year to year, with 2021-2023 representing a comparatively favorable interval and 2017 together with 2024-2025 representing more stressed conditions. This is an important distinction for scientific reporting. In annual vegetation-index studies, broad fluctuations may be more meaningful than attempting to infer a monotonic trend from a relatively short series.

The annual scale adopted in this study should also be considered when interpreting the results. As emphasized by Lakshmi et al. (2025), annual aggregation can smooth short-term extremes and may therefore underestimate the intensity of seasonally concentrated drought episodes. In the present case, annual median NDVI composites were intentionally selected to produce stable, comparable maps across years. This approach is suitable for annual spatial comparison, but it may suppress drought signals that are short in duration yet severe during critical growing periods. For that reason, the present results are best interpreted as annual vegetation-condition summaries rather than direct measurements of seasonal agricultural drought intensity.

Conclusion

This study assessed vegetation condition and drought dynamics in Bursa Province for the 2017-2025 period using Sentinel-2-derived annual NDVI and VCI maps. The results showed that vegetation stress in Bursa did not follow a simple monotonic trend; instead, the period was characterized by clear interannual fluctuations.

Among the analyzed years, 2021 represented the most favorable conditions, with the highest NDVI and VCI means and one of the lowest proportions of drought-affected area. In contrast, 2017 was identified as the most stressed year, while 2024 and 2025 indicated renewed deterioration after the relatively favorable 2021-2023 interval. Accordingly, the temporal pattern of Bursa is better described as alternating phases of recovery and stress rather than continuous drought intensification. The spatial results also demonstrated that vegetation stress was not uniform across the province. Some parts of Bursa consistently showed more favorable vegetation conditions, whereas others were more prone to moderate or severe stress. This indicates that local environmental and land-cover differences likely influenced the spatial drought response. Methodologically, the study confirms that Sentinel-2 imagery processed in Google Earth Engine provides an effective and practical basis for provincial-scale vegetation and drought assessment. Nevertheless, because the analysis covered the entire provincial boundary, the results reflect integrated vegetation response across multiple land-cover types rather than a purely agricultural drought signal. In addition, annual composites provide robust year-to-year comparison but may smooth short-term seasonal stress events.

Overall, the findings indicate that Bursa experienced moderate but spatially heterogeneous vegetation stress during 2017-2025, with the most favorable conditions in 2021 and the most unfavorable conditions in 2017,





followed by renewed weakening in 2024-2025. The study demonstrates that annual NDVI and VCI products derived from Sentinel-2 imagery can provide a coherent basis for monitoring vegetation variability and drought conditions at the provincial scale and can serve as supportive information for irrigation management and water-resources planning.

Declarations

Ethical Approval Certificate

Not applicable.

Author Contribution Statement

Ali Kaan Yetik: Data collection, investigation, formal analysis, and writing the original draft

Fund Statement

No financial support was received for this study.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Civelek, N., İnalpulat, M., & Genç, L. (2025). Wheat and barley cultivated area determination using NDVI threshold values and Google Earth Engine. *Journal of Science-Technology-Innovation Ecosystem*, 6(1), 17–28.
- Dedeoğlu, M., Başayığit, L., Yüksel, M., & Kaya, F. (2019). Assessment of the vegetation indices on Sentinel-2A images for predicting the soil productivity potential in Bursa, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, 16. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7989-8>
- Dikici, M. (2022). Drought analysis for the Seyhan Basin with vegetation indices and comparison with meteorological different indices. *Sustainability*, 14(8), 4464. <https://doi.org/10.3390/su14084464>
- Dikici, M., & Aksel, M. (2021). Evaluation of two vegetation indices (NDVI and VCI) over Asi Basin in Turkey. *Teknik Dergi*, 32(4), 10995–11011. <https://doi.org/10.18400/tekderg.590356>
- Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., Hoersch, B., Isola, C., Laberinti, P., Martimort, P., Meygret, A., Spoto, F., Sy, O., Marchese, F., & Bargellini, P. (2012). Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote Sensing of Environment*, 120, 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>
- Faridatul, M. I., & Ahmed, B. (2020). Assessing agricultural vulnerability to drought in a heterogeneous environment: A remote sensing-based approach. *Remote Sensing*, 12(20), 3363. <https://doi.org/10.3390/rs12203363>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Karabulut, A. A., Ceylan, N., Bahar, E., & Kurşun, İ. (2021). Crop phenology-based, object-oriented classification approach using Sentinel-2A and NDVI time series: Sunflower crops in Kırklareli, Turkey. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 8(3), 316–327. <https://doi.org/10.30897/ijegeo.858456>
- Kesgin, E., Yaldiz, S. G., & Güçlü, Y. S. (2024). Spatiotemporal variability and trends of droughts in the Mediterranean coastal region of Türkiye. *International Journal of Climatology*, 44(4), 1036–1057. <https://doi.org/10.1002/joc.8370>
- Kogan, F. N. (1995). Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research*, 15(11), 91–100. [https://doi.org/10.1016/0273-1177\(95\)00079-T](https://doi.org/10.1016/0273-1177(95)00079-T)
- Lakshmi, V., Kir, E. G., Kir, A., & Fang, B. (2025). Remote sensing-based monitoring of agricultural drought and irrigation adaptation strategies in the Antalya Basin, Türkiye. *Hydrology*, 12(11), 288. <https://doi.org/10.3390/hydrology12110288>
- Lesk, C., Rowhani, P., & Ramankutty, N. (2016). Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature*, 529(7584), 84–87. <https://doi.org/10.1038/nature16467>
- Li, M., Ge, C., Zong, S., & Wang, G. (2022). Drought assessment on vegetation in the Loess Plateau using a phenology-based vegetation condition index. *Remote Sensing*, 14(13), 3043. <https://doi.org/10.3390/rs14133043>
- Şorman, A. Ü., Mehr, A. D., & Hadi, S. J. (2018). Study on spatial-temporal variations of meteorological-agricultural droughts in Turkey. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-3/W4, 483–489. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W4-483-2018>
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8, 127–150. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
- Uyar, N. (2025). Prediction in terrestrial and aquatic ecosystems using Sentinel-2, Landsat 8, and MODIS data: An integrated approach through Google Earth Engine. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 12(3), 251–262.
- Varghese, D., Radulovic, M., Stojkovic, S., & Crnojevic, V. (2021). Reviewing the potential of Sentinel-2 in assessing drought. *Remote Sensing*, 13(17), 3355. <https://doi.org/10.3390/rs13173355>
- West, H., Quinn, N., Horswell, M., & White, P. (2018). Assessing vegetation response to soil moisture fluctuation under extreme drought using Sentinel-2. *Water*, 10(7), 838. <https://doi.org/10.3390/w10070838>
- Yetik, A. K., & Candoğan, B. N. (2025). Projected changes in drought severity and spatial patterns across Türkiye under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios. *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 19(57), 35–47.





Integrating Microclimate and Biomechanics to Predict Tomato Cracking in Greenhouse

Srishti Chauhan¹, Prodipto Bishnu Angon^{1*}

Institute of Agronomy, Hungarian University of Agriculture and Life Science (MATE), Gödöllő, 2100, Hungary

*Corresponding Author

Abstract

A physiological condition known as tomato fruit cracking drastically lowers commercial yield, especially in greenhouse systems where microclimatic changes are common. The cuticle and epidermis experience a shift in mechanical strain during ripening due to the slow breakdown of pericarp cell walls. The cuticle serves as a defence against stress when internal turgor pressure rises. Crack initiation is by the mismatch between cuticular flexibility and fruit growth. Fruit development dynamics, peel biomechanics, and cuticle composition are all significantly impacted by environmental conditions as temperature, relative humidity, and radiation. Predicting crack start under dynamic greenhouse circumstances is still difficult, despite a wealth of physiological research. High humidity increases internal pressure by encouraging water absorption and cuticular microcracks. Radiation changes the temperature and cuticle biochemistry of fruit, whereas temperature extremes decrease the flexibility of the peel. Furthermore, structural integrity is weakened during ripening by decreases in cellulose, hemicellulose, calcium, and boron. Genetic differences and uneven cracking across the fruit surface make risk prediction and monitoring difficult. The present understanding of fruit biomechanics, microclimate interactions, and physiological ripening processes is summarized in this paper. To explain stress distribution, it combines data from experimental investigations with computational techniques, such as extended finite element modelling. For predictive analysis, the system connects fruit growth sensing, greenhouse climate monitoring, and biomechanical modelling. The study demonstrates how biochemical and structural alterations in the peel interact with mechanical stress caused by the microclimate to cause cracking. It illustrates how predictive modelling may be used to identify crucial risk thresholds and model stress reactions in a variety of environmental settings. Early cracking risk prediction and precise management can be made possible by integrating biomechanical models with real-time greenhouse monitoring. By optimizing irrigation and ventilation techniques and supporting breeding initiatives aimed at crack-resistant cultivars, these methods help reduce preharvest and postharvest losses in a sustainable manner.

Key Words: *Tomato, Physiology, Cracking, Microclimate, Biomechanics, Indoor farming*





The Role of Gluten in Dog Nutrition: Ration Formulation and Dietary Management

Ercan MEVLİYAOGULLARI^{1*}, Arda YILDIRIM²

¹Başkent Üniversitesi, Kahramankazan Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Ankara, Türkiye.

²Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü, Tokat, Türkiye.

Abstract

Gluten in canine nutrition should be evaluated not only as a possible component of adverse food reactions but also as a functional ingredient that contributes to the structure, texture, and processability of commercial dry foods and treats. Accordingly, its role should be considered in two contexts: its possible association with gastrointestinal or neurologic syndromes in genetically or phenotypically susceptible dogs, and the technological consequences of replacing gluten-containing ingredients in diet formulation. Current evidence indicates that gluten is not a universal nutritional problem in dogs, although gluten-associated enteropathies and neurologic syndromes have been described in certain breeds. From a nutritional perspective, the main issue is not simply the removal of gluten, but the management of resulting changes in macronutrient balance, dietary fiber profile, starch characteristics, palatability, extrusion behavior, and postprandial metabolic responses. Recent studies suggest that buckwheat, legumes, insect proteins, algae-based ingredients, and food-industry by-products may support the development of low-gluten or gluten-free canine diets. In clinical practice, the most reliable diagnostic strategy in suspected gluten sensitivity remains a carefully controlled elimination diet followed by structured reintroduction. Within chronic enteropathies, gluten should also be interpreted within a broader framework involving intestinal barrier function, immune tolerance, and the gut microbiota. This review discusses gluten in dogs from the perspectives of nutrition science, ration formulation, and clinical dietary management.

Key Words: dog, gluten, nutrition, elimination diet, chronic enteropathy, palatability, extrusion

Köpek Beslenmesinde Glutenin Rolü: Rasyon Formülasyonu ve Diyet Yönetimi

Özet

Köpek beslenmesinde gluten, yalnızca potansiyel bir advers gıda reaksiyonu bileşeni olarak değil, aynı zamanda ticari kuru mama ve ödül maması üretiminde önemli fonksiyonel özellikler sağlayan bir bileşen olarak değerlendirilmelidir. Bu nedenle glutenin değerlendirilmesi iki temel bağlamda ele alınmalıdır: birincisi, belirli genetik veya fenotipik yatkınlığa sahip köpek alt gruplarında gastrointestinal veya nörolojik klinik tablolarla ilişkili olabilmesi; ikincisi ise glutenin gıda teknolojisi açısından sağladığı yapı, doku ve işlenebilirlik özelliklerinin glutensiz veya alternatif hammaddeler içeren formülasyonlarda nasıl karşılanabileceğidir. Mevcut bilimsel bulgular, glutenin köpek popülasyonu için genel bir beslenme sorunu olmadığını, ancak bazı ırklarda gluten duyarlılığı ile ilişkili enteropatiler veya nörolojik sendromların tanımlandığını göstermektedir. Bununla birlikte beslenme bilimi açısından temel tartışma, glutenin diyetlerden tamamen çıkarılmasından ziyade bu değişikliğin makrobesin dengesi, diyet lif profili, nişasta yapısı, palatabilite, ekstrüzyon teknolojisi ve postprandiyal metabolik yanıtlar üzerindeki etkilerinin nasıl yönetileceğidir. Güncel araştırmalar, karabuğday, baklagil kökenli ürünler, böcek proteinleri, alg bazlı bileşenler ve gıda sanayi yan ürünleri gibi alternatif hammaddelerin glutensiz veya düşük glutenli köpek diyetlerinde potansiyel kullanım alanları sunduğunu ortaya koymaktadır. Klinik uygulamada ise gluten duyarlılığı şüphesi bulunan köpeklerde tanısal yaklaşımın temelini kontrollü eliminasyon diyetleri ve dikkatli yeniden yükleme protokolleri oluşturmaktadır. Kronik enteropatiler bağlamında gluten, bağırsak bariyer fonksiyonu, immün tolerans mekanizmaları ve intestinal mikrobiyota ile etkileşim gösteren daha geniş bir patobiyolojik çerçeve içinde değerlendirilmelidir. Bu derleme, köpeklerde gluten konusunu özellikle beslenme bilimi, rasyon formülasyonu ve klinik diyet yönetimi perspektifinden ele almayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Köpek, gluten, beslenme, eliminasyon diyeti, kronik enteropati, palatabilite, ekstrüzyon





Giriş

Köpeklerde gluten tartışması, veteriner klinikte çoğunlukla advers gıda reaksiyonları ve kronik enteropatiler bağlamında ele alınmaktadır. Ancak beslenme bilimi açısından konu bundan daha geniş bir beslenme ve gıda teknolojisi bağlamında değerlendirilmelidir. Gluten, özellikle buğday bazlı ürünlerde yalnızca bir protein fraksiyonu değil, aynı zamanda yapı, bağlanma, şekil korunumu ve proses başarısı sağlayan fonksiyonel bir bileşendir. Bu nedenle glutenin diyetten çıkarılması ya da azaltılması, yalnızca olası bir antijenin ortadan kaldırılması anlamına gelmez; aynı zamanda ürün teknolojisinin ve rasyon kompozisyonunun yeniden düzenlenmesini gerektirir (Kępińska-Pacelik ve ark., 2023; Penazzi ve ark., 2024). Pet food üretiminde gluten içeren tahıllar yalnızca protein kaynağı olarak değil, aynı zamanda ekstrüzyon sürecinde hamurun viskoelastik özelliklerini düzenleyen ve ürünün yapısal stabilitesine katkı sağlayan teknolojik bileşenler olarak da rol oynar. Bu nedenle glutensiz formülasyonların geliştirilmesi, yalnızca beslenme açısından değil, aynı zamanda üretim teknolojisi açısından da yeni formülasyon stratejileri gerektirmektedir (Hardy ve Gajanayake, 2022).

Hardy ve Gajanayake (2022), köpeklerde advers gıda reaksiyonlarının genel popülasyonda nispeten seyrek görünmekle birlikte, prurituslu hayvanlarda ve kronik enteritli köpeklerin yaklaşık %50-60'ının diyet değişikliğine yanıt verebildiğini ve diyet yanıtı enteropatinin (food-responsive enteropathy, FRE) kronik diyarenin başlıca nedenlerinden biri olduğunu vurgulamaktadır. Buna karşılık gluten, köpeklerde en sık bildirilen gıda alerjisi değildir; en sık bildirilen bileşenler sığır eti, süt ürünleri, tavuk ve balıktır (Rogers ve ark., 2023). Bu nedenle gluten, tüm köpekler için evrensel olarak sorunlu bir içerik değil, seçilmiş fenotiplerde önem kazanan bir diyet unsurudur. Son yıllarda pet food endüstrisinde “grain-free” veya “gluten-free” diyetlere yönelik artan ilgi, bu konunun yalnızca klinik beslenme açısından değil aynı zamanda pazarlama, tüketici algısı ve ürün geliştirme perspektiflerinden de tartışılmasına yol açmıştır. Bununla birlikte mevcut bilimsel veriler, tahılların köpek beslenmesinde temel enerji ve besin maddesi kaynakları olduğunu ve tahılların diyetlerden çıkarılmasının her durumda beslenme açısından avantaj sağlamadığını göstermektedir (Zhang ve ark., 2025).

Bu bağlamda beslenme odaklı yaklaşımın temel sorusu “gluten zararlı mıdır?” değil, “hangi köpekte, hangi klinik durumda ve hangi ürün matrisinde glutenin azaltılması ya da çıkarılması gerçekten yararlıdır?” olmalıdır. Bu soru hem pet food teknolojisini hem de klinik diyetetiği birlikte değerlendirmeyi gerektirir (Kępińska-Pacelik ve ark., 2023; Penazzi ve ark., 2024; Hardy ve Gajanayake, 2022). Dolayısıyla glutenin köpek beslenmesindeki rolü, yalnızca potansiyel bir antijen olarak değil; rasyon formülasyonu, sindirim fizyolojisi, bağırsak mikrobiyotası ve gıda işleme teknolojileri ile ilişkili çok boyutlu bir beslenme bileşeni olarak ele alınmalıdır.

Köpek Beslenmesinde Glutenin Teknolojik ve Fonksiyonel Rolü

Kuru mama ve ödül maması üretiminde kullanılan tahıllar, yalnızca enerji kaynağı olarak değil, ürünün fiziksel bütünlüğünü oluşturan hammaddeler olarak işlev görür. Kępińska-Pacelik ve ark. (2023), ticari köpek ödülllerinin büyük kısmının buğday bazlı olduğunu ve bunun temel nedenlerinden birinin buğdaydaki glutenin doğru tekstür ve proses edilebilirlik sağlaması olduğunu belirtmiştir. Gluten proteinleri özellikle gliadin ve glutenin fraksiyonlarından oluşur ve bu proteinlerin viskoelastik özellikleri hamurun işlenebilirliğini artırarak ürünün yapısal stabilitesine katkı sağlar (Kolb ve ark., 2022). Benzer biçimde Penazzi ve ark. (2024), nişastanın köpekler için esansiyel bir besin ögesi olmamasına rağmen pet food formülasyonlarında başlıca enerji kaynaklarından biri olduğunu, ayrıca ekstrüzyon işlemi ve kibble oluşumu (kuru mama granülü) için kritik rol oynadığını vurgulamıştır. Ekstrüzyon sırasında nişasta jelatinizasyonu, protein-nişasta etkileşimleri ve hamurun reolojik özellikleri ürünün genişleme derecesini, yoğunluğunu ve kırılma direncini belirleyen başlıca faktörlerdir (Penazzi ve ark., 2024).

Bu bilgiler, glutenin beslenme açısından iki düzeyde değerlendirilmesini zorunlu kılar. Birinci düzey, hammaddenin biyolojik etkisidir; ikinci düzey ise aynı hammaddenin ürünün fiziksel yapısına katkısıdır. Klinik olarak gluten şüphesi taşıyan bir köpekte diyetten buğdayın çıkarılması, eş zamanlı olarak nişasta kaynağının, lif düzeyinin, protein yoğunluğunun, yağ dağılımının ve ürün dokusunun da değişmesi anlamına gelir. Bu nedenle “glutensiz diyet” çoğu zaman yalnızca bir eliminasyon stratejisi değil, kapsamlı bir rasyon yeniden tasarımıdır (Kępińska-Pacelik ve ark., 2023; Penazzi ve ark., 2024). Başka bir ifadeyle glutenin formülasyondan çıkarılması yalnızca potansiyel bir diyet antijeninin uzaklaştırılması değil, aynı zamanda alternatif karbonhidrat ve protein kaynaklarının kullanıldığı yeni bir gıda matrisi oluşturulması anlamına gelmektedir.

Tamamlayıcı yemler açısından konu daha da kritik hâle gelmektedir. Kępińska-Pacelik ve ark. (2023), köpek ödülllerinin tamamlayıcı yem niteliğinde olduğunu ve günlük rasyonun yaklaşık %10'unu aşmamasının hedeflendiğini bildirmiştir. Buna rağmen pratikte ödülleri, çığneme ürünleri ve ilaç verirken kullanılan atıştırılabilirlikler toplam maruziyetin önemli bölümünü oluşturabilir. Hardy ve Gajanayake (2022), eliminasyon diyeti sırasında seçilen diyet dışındaki tüm gıdaların, ödülleri ve ilaçlarla verilen yiyecekler dâhil, kesilmesi gerektiğini belirtmiştir. Bu nedenle gluten duyarlılığının klinik yönetiminde başarıyı belirleyen unsur çoğu zaman ana rasyon değil, kontrol edilmeyen küçük ek diyet maruziyetleridir. Bu durum, klinik eliminasyon diyetlerinin başarısında sahip uyumunun ve toplam diyet maruziyetinin titizlikle kontrol edilmesinin kritik önem taşıdığını göstermektedir.





Glutenin Azaltılması veya Yerine Alternatif Hammaddelerin Kullanılması: Besinsel Sonuçlar

Glutenin rasyondan çıkarılması ya da azaltılması, pratikte genellikle tahıl kompozisyonunun değiştirilmesi anlamına gelir. Bu değişiklik ise yalnızca “gluteni düşürmekle” kalmaz; protein, yağ, lif, nişasta ve mineral profilini de dönüştürür. Kępińska-Pacelik ve ark. (2023) geliştirdiği ödül formülleri ile Penazzi ve ark. (2024) kırmızı mercimek makarna yan ürününü kullandığı tam mama formülleri, bu değişimin ne kadar kapsamlı olabileceğini açıkça göstermektedir (Kępińska-Pacelik ve ark., 2023; Penazzi ve ark., 2024). Dolayısıyla gluten azaltımı çoğu zaman tek bir bileşenin çıkarılması değil, diyet matrisinin tamamının yeniden yapılandırılması anlamına gelmektedir.

Kępińska-Pacelik ve ark. (2023) çalışmasında karabuğday unu, spelt unu, böcek unu ve spirulina kullanılarak dört farklı ürün geliştirilmiştir. Bu formülasyonların hammadde bileşimi, alternatif içeriklerin yalnızca gluten azaltımı amacıyla değil, aynı zamanda protein yoğunluğunu yükseltmek amacıyla da seçildiğini göstermektedir. Cırcır böceği unu yaklaşık %65.66 ham protein ve %21.51 ham yağ, spirulina ise yaklaşık %76.58 ham protein içermiştir. Spelt ve karabuğday unları ise karbonhidrat yanında anlamlı protein katkısı sağlamıştır. Bu veriler, klasik tahıl bazlı bir ödülün alternatif hammaddelerle daha yüksek protein yoğunluğuna taşınabileceğini göstermektedir. Ayrıca bu tür alternatif hammaddeler amino asit profili, pigment içeriği ve fonksiyonel bileşenler bakımından da geleneksel tahıl kaynaklarından farklı özellikler gösterebilmektedir.

Penazzi ve ark. (2024) çalışmasında ise pirincin %33, %66 ve %100 oranında kırmızı mercimek makarna yan ürünü ile değiştirilmesi, rasyonun makro besin yapısını belirgin biçimde değiştirmiştir. Kuru maddede ham protein 296.0 g/kg’dan 388.7 g/kg’a yükselmiş, toplam diyet lifi 105.9 g/kg’dan 127.9 g/kg’a çıkmış ve nişasta 411.6 g/kg’dan 269.0 g/kg’a düşmüştür. Bu değişim aynı zamanda diyetin glisemik yükünü ve postprandiyal metabolik yanıtını da etkileyebilecek potansiyele sahiptir. Bu sonuç, klinikte glutensiz ya da tahıl ikamesine dayalı diyetlerin değerlendirilmesinde yalnızca “hangi tahıl çıkarıldı?” sorusunun yetersiz olduğunu göstermektedir. Asıl değerlendirilmesi gereken unsur, rasyonun toplam besin mimarisinin ve metabolik etkilerinin nasıl değiştiğidir.

Beslenme planlaması açısından önemli bir çıkarım da şudur: gluteni azaltılmış ya da alternatif karbonhidrat kaynakları içeren diyetler, protein ve lif yoğunluğu daha yüksek, nişasta yoğunluğu daha düşük ve kimi zaman metabolik yanıtı daha avantajlı ürünler ortaya çıkarabilir. Ancak bu değişim her zaman olumlu değildir; çünkü ürün sertliği, dışkı hacmi, tüketim davranışı ve sindirilebilirlik gibi özellikler de eş zamanlı olarak değişebilir (Kępińska-Pacelik ve ark., 2023; Penazzi ve ark., 2024). Bu nedenle glutensiz veya alternatif tahıl içeren diyetlerin değerlendirilmesi yalnızca besin içeriği açısından değil, aynı zamanda sindirilebilirlik, fekal kalite, bağırsak mikrobiyotası ve uzun dönem metabolik etkiler açısından da yapılmalıdır.

Alternatif Formülasyonlar ve Ürün Geliştirme Kanıtları

Kępińska-Pacelik ve ark. (2023) çalışması, glutenin azaltıldığı veya tahıl kompozisyonunun değiştirildiği köpek ödülleri için nasıl geliştirilebileceğine ilişkin doğrudan veri sağlamaktadır. Çalışmada iki ekstrüde ve iki fırınlanmış ürün hazırlanmış; formüllerde karabuğday ve spelt farklı oranlarda kullanılmıştır. S1 ve S3 varyantlarında karabuğday:spelt oranı 1:1, S2 ve S4 varyantlarında ise 7:3 olarak belirlenmiştir. Ekstrüde ürünler kademeli ısı işlem altında işlenmiş, fırınlanmış ürünler ise 180°C’de 20 dakika pişirilmiştir (Kępińska-Pacelik ve ark., 2023). Bu tasarım, aynı hammaddelerin farklı proses koşullarında farklı duyu ve yapısal sonuçlar verebildiğini göstermektedir. Gıda işleme literatürü, özellikle ekstrüzyon ve fırınlama gibi proseslerin protein denatürasyonu, nişasta jelatinizasyonu ve ürün gözenek yapısı üzerinde belirleyici olduğunu ve bunun da son ürünün tekstür ve kırılabilirlik özelliklerini doğrudan etkilediğini göstermektedir.

Ürünlerin besin profili de proses tipine göre farklılık göstermiştir. Fırınlanmış ürünlerde kaba yağ düzeyi ekstrüde ürünlere göre yaklaşık iki kat daha yüksek bulunmuş, toplam karbonhidrat içeriği ise ekstrüde ürünlerde daha yüksek saptanmıştır. İz element ortalamaları da fırınlanmış ürünlerde daha yüksek bildirilmiştir (Kępińska-Pacelik ve ark., 2023). Bu bulgu, gluteni azaltılmış ürünleri değerlendirirken yalnızca içerik listesinin değil, üretim yönteminin de besinsel son ürün üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir. Başka bir ifadeyle, formülasyon ve proses koşulları birlikte değerlendirilmediğinde ürünün nihai besin profili ve fiziksel özellikleri doğru şekilde yorumlanamayabilir.

Palatabilité verileri, formülasyon başarısının klinik beslenme açısından kritik olduğunu ortaya koymaktadır. Kępińska-Pacelik ve ark. (2023), iki kap testiyle yaptıkları değerlendirmede aynı bileşimdeki ürünler arasında fırınlanmış varyantların ekstrüde ürünlere göre daha sık seçildiğini bildirmiştir. Ayrıca fırınlanmış ürünler arasında karabuğday oranı daha yüksek olan varyant daha az tercih edilmiştir. Bu sonuç, glutenin azaltılması veya alternatif tahılların artırılması sırasında lezzetliliğin bozulabileceğini ve bunun ürün kabulünü doğrudan etkilediğini göstermektedir. Klinik diyetetikte teorik olarak uygun bir diyetin başarılı sayılabilmesi için köpek tarafından düzenli ve isteyerek tüketilmesi gerekir. Bu nedenle palatabilité, özellikle eliminasyon diyetleri ve terapötik rasyonların uzun dönem uygulanabilirliği açısından kritik bir parametre olarak kabul edilmektedir.

Penazzi ve ark. (2024) çalışması tam mamalar için benzer derecede önemli veriler sunmaktadır. Kırmızı mercimek makarna yan ürünü oranı arttıkça ekstrüder basıncı, kibble sertliği ve bulk density lineer olarak artmış; buna karşılık nişasta jelatinizasyonu anlamlı biçimde değişmemiştir. Bu sonuç, alternatif karbonhidrat





kullanımının üretim hattındaki mekanik davranışı değiştirdiğini ve ürün geliştirme sürecinde teknolojik optimizasyon gerektirdiğini göstermektedir. Başka bir deyişle, klinik olarak istenen bir içerik değişikliği üretim açısından doğrudan uygulanabilir olmayabilir; formülasyonun yeniden dengelenmesi gerekebilir. Ekstrüzyon parametreleri ile formülasyon kompozisyonu arasındaki bu etkileşim, modern pet food ürün geliştirme çalışmalarında en kritik mühendislik bileşenlerinden biri olarak kabul edilmektedir.

Aynı çalışmada palatabilité açısından en dikkat çekici sonuç, pirincin tamamen kırmızı mercimek makarna yan ürünüyle değiştirildiği LP100 formülünün hem ilk seçim hem de tüketim oranı bakımından daha çok tercih edilmesidir (Penazzi ve ark., 2024). Bu bulgu, tahıl ikamesinin her zaman lezzetliliği azaltmadığını; bazı durumlarda tam tersine kabulü artırabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla alternatif hammaddelere dayalı diyetlerin klinik kullanımı, yalnızca kaçınılması gereken içeriklerin çıkarılması üzerinden değil, kabul edilebilir bir son ürün oluşturma hedefiyle değerlendirilmelidir. Bu yaklaşım, klinik diyetetik ile gıda teknolojisi arasında güçlü bir entegrasyon gerektirdiğini ve terapötik diyetlerin geliştirilmesinde multidisipliner bir yaklaşımın önemini ortaya koymaktadır.

Sindirilebilirlik, Dışkı Kalitesi ve Postprandiyal Metabolizma

Alternatif karbonhidrat kaynakları kullanıldığında beslenme açısından yanıtın en önemli bileşenleri sindirilebilirlik, dışkı kalitesi ve metabolik yanıttır. Penazzi ve ark. (2024) çalışması, kırmızı mercimek makarna yan ürününün bu üç başlık altında ayrıntılı değerlendirilmesini sağlamıştır. Çalışmada pirincin %33 ve %66 oranında mercimek makarna yan ürünü ile değiştirilmesi, görünür toplam sindirilebilirlik katsayılarında belirgin bir bozulma oluşturmamıştır. Buna karşın %100 ikamede kuru madde, organik madde ve brüt enerji sindirilebilirliği LP66'ya kıyasla daha düşük bulunmuştur. Bu sonuç, alternatif hammaddenin varlığından çok kullanım düzeyinin kritik olduğunu göstermektedir. Başka bir ifadeyle, baklagil temelli karbonhidrat kaynaklarının orta düzey ikamesi sindirilebilirliği büyük ölçüde korurken, yüksek düzey ikame rasyonun toplam sindirim verimliliğini sınırlayabilmektedir.

Azot dengesi sonuçları ise daha olumludur. Penazzi ve ark. (2024), mercimek yan ürünü kullanımının azot dengesi üzerinde olumsuz etki yaratmadığını ve proteinin besinsel açıdan kullanılabilir olduğunu bildirmiştir. Bu bulgu, protein yoğunluğu artan baklagil temelli formülasyonların doğru seviyede kullanıldığında yalnızca klinik eliminasyon amacıyla değil, besinsel yeterlilik açısından da rasyonel olabileceğini düşündürmektedir. Ayrıca baklagil proteinlerinin farklı amino asit profilleri ve lif matrisi ile birlikte sunulması, sindirim kinetiği ve postabsorptif metabolik yanıt üzerinde de belirleyici olabilmektedir.

Dışkı kalitesi, klinik beslenmede uygulamaya dönük en önemli ölçütlerden biridir. Çalışmada mercimek yan ürünü düzeyi arttıkça fekal üretim ve nem artmış, fekal pH düşmüştü; ancak tüm diyetlerde medyan dışkı skoru 4 olarak korunmuştur (Penazzi ve ark., 2024). Yani daha yüksek lif ve fermentasyon yüküne rağmen dışkı biçimi kabul edilebilir sınırlar içinde kalmıştır. Bu bulgu, alternatif karbonhidrat kaynaklarının kolon düzeyinde daha yoğun fermentasyona yol açmasına rağmen klinik açıdan her zaman ishal ya da kötü dışkı kalitesi oluşturmadığını göstermektedir. Artan fekal üretim ve nem içeriği büyük ölçüde diyetteki fermentabl lif miktarındaki artış ile ilişkilendirilmektedir.

Kolonik fermentasyon ürünleri açısından asetat, propiyonat, toplam kısa zincirli yağ asitleri ve laktat düzeylerinin lineer olarak arttığı gösterilmiştir (Penazzi ve ark., 2024). Beslenme açısından bu sonuç önemlidir; çünkü kısa zincirli yağ asitleri yalnızca mikrobiyal aktivite göstergesi değildir, aynı zamanda kolonik epitel için enerji kaynağı ve metabolik düzenleyici moleküllerdir. Penazzi ve ark. (2024) özellikle propiyonattaki artışın gastrointestinal işlevsellik için olumlu bir sinyal olabileceğini tartışmıştır. Kısa zincirli yağ asitlerinin bağırsak epitel bütünlüğünü desteklediği, mukozal enerji metabolizmasına katkı sağladığı ve konak metabolizmasını düzenleyen sinyal molekülleri olarak görev yaptığı bilinmektedir. Bu nedenle gluteni azaltılmış ya da tahıl ikameli diyetler, yalnızca potansiyel antijen yükünü değiştirmekle kalmayıp bağırsak lümenindeki metabolit profilini de yeniden şekillendirebilir.

Postprandiyal metabolik yanıt açısından LP100 formülü, kontrol diyetine göre daha düşük bazal, ortalama ve toplam glukoz maruziyeti ile ilişkili bulunmuş; insülin yanıtında da baskılanma saptanmıştır (Penazzi ve ark., 2024). Bu veri, baklagil temelli tahıl ikamelerinin özellikle glisemik yanıtın sınırlandırılmasının istendiği durumlarda dikkat çekici olabileceğini düşündürmektedir. Baklagil kaynaklı karbonhidratların daha düşük nişasta içeriği ve daha yüksek dirençli nişasta ile lif fraksiyonları içermesi, glukoz emiliminin daha yavaş gerçekleşmesine katkı sağlayabilmektedir. Bununla birlikte aynı formülasyonun daha sert ve yoğun bir ürün yapısı oluşturduğu unutulmamalıdır. Klinik beslenmede bu nedenle metabolik avantaj ile ürün teknolojisi arasında denge kurulmalıdır.

Klinik Beslenme Yaklaşımı: Eliminasyon Diyeti ve Maruziyet Kontrolü

Gluten şüphesinde klinik olarak en güvenilir yaklaşım, eliminasyon diyeti ve kontrollü yeniden yüklemedir. Hardy ve Gajanayake (2022), köpek ve kedilerde advers gıda reaksiyonu tanısının güvenilir biçimde ancak sıkı bir diyet denemesiyle konabileceğini; serum testleri, intradermal testler, tükürük testleri ve benzeri yöntemlerin bu amaçla önerilemeyeceğini bildirmiştir. Bu yaklaşım, beslenme pratiğinde önemli bir ilkeyi ortaya koyar: gluten





şüphesi olan köpekte tanınal yaklaşımın temelini laboratuvar testlerinden ziyade kontrollü diyet denemesi oluşturur. Dolayısıyla eliminasyon diyeti hem tanınal hem de terapötik bir beslenme müdahalesi olarak değerlendirilmelidir.

Eliminasyon diyeti için ticari hidrolize protein diyetleri, ticari novel protein diyetleri veya ev yapımı tek proteinli diyetler seçilebilir. Gastrointestinal belirtilerde 3-4 haftalık, dermatolojik belirtilerde ise çoğu zaman 8 haftaya uzayan diyet denemesi önerilmektedir (Hardy ve Gajanayake, 2022). Klinik düzelme görüldüğünde eski diyetle yeniden yükleme ve ardından tek tek gıda bileşenleri ile provokasyon yapılmalıdır (Hardy ve Gajanayake, 2022). Gluten açısından değerlendirildiğinde bu süreç, yalnızca “glutensiz” bir mamaya geçmekten ibaret değildir; ana mama, ödülleri, masa artıkları, ilaç verirken kullanılan yiyecekler ve diğer tamamlayıcı ürünlerin tümü aynı anda kontrol altına alınmalıdır. Eliminasyon diyetlerinin başarısı büyük ölçüde diyetin mutlak bütünlüğünün korunmasına ve uyumunun yüksek olmasına bağlıdır.

Hardy ve Gajanayake (2022), hidrolize protein diyetlerinin diyet denemesi için genel olarak en etkili seçenek olduğunu belirtmiştir. Bununla birlikte bu diyetlerin hidroliz derecesi değişebilmekte ve bazı ürünlerde birden fazla hidrolize protein kaynağı bulunabilmektedir. Bu nedenle klinik seçim yapılırken daha önce reaksiyon oluşturmuş proteinler ve geçmiş diyet öyküsü dikkate alınmalıdır. Beslenme yönetiminde temel hedef, mümkün olan en basit ve en iyi kontrol edilebilir maruziyet modelini kurmaktır. Klinik uygulamada basit ve sınırlı içerikli diyetlerin tercih edilmesi, istenmeyen diyet kontaminasyonu riskini azaltabilmektedir.

Maruziyet kontrolünün önemi Rogers ve ark. (2023) nörolojik fenotip çalışmasında da ortaya çıkmıştır. Pozitif veya şüpheli serolojili bazı köpeklerde glutensiz diyetle geçildikten sonra atakların kaybolduğu ya da belirgin azaldığı, buna karşılık gluten içeren ödül verilmesini takiben relaps geliştiği bildirilmiştir (Rogers ve ark., 2023). Bu gözlem, küçük miktarlı ek gıdaların klinik sonucu bozabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla klinik diyet yönetiminde en küçük çapraz maruziyetlerin dahi sonuçları etkileyebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Aynı nedenle Andoscia (2024) doktora çalışması, gluteni saptayacak biçimde eğitilmiş köpeklerin teorik olarak kontaminasyon yönetimine katkı sunabileceğini göstermesi bakımından ilgi çekicidir; ancak bu alan henüz translasyonel ve öncü düzeydedir. Klinik beslenme pratiğinde ise daha gerçekçi yaklaşım, tüm ek maruziyetleri yapılandırılmış biçimde ortadan kaldırmaktır.

Büyüme Dönemi, Uzun Dönem Kullanım ve Rasyon Güvenliği

Klinik diyet uygulamalarında en sık yapılan hatalardan biri, eliminasyon diyetlerini yalnızca kısa dönemli semptom kontrolü açısından değerlendirmek ve uzun dönem beslenme yeterliliğini ikincil görmekten kaynaklanır. Hardy ve Gajanayake (2022), advers gıda reaksiyonu gelişen köpeklerin önemli bölümünün juvenil yaşta olduğunu ve bu nedenle büyüyen hayvanlarda diyet seçiminde büyüme gereksinimlerinin de mutlaka karşılanması gerektiğini vurgulamıştır. Bazı ticari hidrolize ve novel protein diyetleri büyüme için dengelenmiş olabilir; ancak bunun ürün bazında doğrulanması gerekir. Bu nedenle klinik diyet seçiminde ürünün yalnızca eliminasyon amacıyla değil, aynı zamanda “tam ve dengeli” bir büyüme rasyonu olup olmadığı da dikkate alınmalıdır.

Bu uyarı gluten şüphesi bulunan yavru köpeklerde özellikle önemlidir. Çünkü gluteni çıkarılmış bir diyet, eğer enerji yoğunluğu, esansiyel amino asit dengesi, mineral yeterliliği ve yağ asidi profili açısından tam değilse, klinik belirtiler düzeldikçe büyüme performansı olumsuz etkilenebilir. Büyüme döneminde özellikle enerji yoğunluğu, kalsiyum-fosfor dengesi, esansiyel amino asitler ve uzun zincirli yağ asitleri gibi besin öğelerinin yeterli düzeyde sağlanması kritik öneme sahiptir. Kępińska-Pacelik ve ark. (2023) ödül çalışması, alternatif hammaddelerin protein ve yağ içeriğini artırabildiğini göstermiş olsa da ödüllerin tamamlayıcı yem niteliğinde olduğu ve tek başına rasyonun yerini alamayacağı unutulmamalıdır. Bu nedenle klinik yönetimde ana rasyon ile tamamlayıcı ürünler kesin olarak ayrılmalıdır. Tamamlayıcı ürünlerin aşırı kullanımı, rasyonun toplam besin dengesini bozarak özellikle büyüme döneminde istenmeyen beslenme dengesizliklerine yol açabilir.

Hardy ve Gajanayake (2022), uzun dönemde hidrolize veya novel protein diyetlerinin kullanılmasında besinsel bir sakınca bildirilmediğini, ancak maliyetin sınırlayıcı olabileceğini belirtmiştir. Beslenme açısından bu bilgi önemlidir; çünkü glutensiz veya alternatif proteinli diyetler yalnızca tanı amacıyla değil, bazı köpeklerde uzun süreli idame diyeti olarak da gerekebilir. Ancak bu durumda diyetin tam ve dengeli olduğundan, vücut kondisyonunun korunduğundan ve gerekirse palatabilité sorunlarının yönetildiğinden emin olunmalıdır. Uzun dönem diyet uygulamalarında düzenli vücut ağırlığı takibi, kondisyon skoru değerlendirmesi ve gerekirse rasyonun yeniden formülasyonu önerilmektedir.

Kronik Enteropati, Bağırsak Bariyeri ve Mikrobiyota Bağlamında Beslenme

Kronik enteropatilerde beslenme, yalnızca semptom azaltıcı bir yaklaşım değil, patobiyolojinin merkezindeki müdahaledir. Allenspach ve Mochel (2022), köpek kronik enteropatilerini gıda-yanıtlı hastalık, antibiyotik-yanıtlı hastalık ve steroid-yanıtlı hastalık olarak üç ana grupta ele almış; bu hastalıklarda diyet antijenlerine ve kommensal mikrobiyotaya karşı tolerans kaybının ana mekanizma olduğunu vurgulamıştır. Bu çerçevede gluten, bağırsak bariyeri ve immün tolerans bozulduğunda klinik önem kazanabilen diyet bileşenlerinden biridir. Dolayısıyla diyet bileşenleri yalnızca besin kaynağı değil, aynı zamanda bağırsak immünolojisi ve bariyer fonksiyonu üzerinde etkili biyolojik modülatörler olarak değerlendirilmektedir.





Aynı derleme, köpek kronik enteropatilerinde zonulin-1 ekspresyonunda artış ve epitel bütünlüğünde bozulma ile uyumlu değişiklikler olduğunu bildirmiştir (Allenspach ve Mochel, 2022). Diyete yanıtı diyareli (food-responsive diarrhea, FRD) köpeklerde mikrovillus küntleşmesi, sitoplazmik vakuolizasyon ve mitokondriyal değişiklikler gibi bulguların insan çölyak hastalığındaki morfolojik değişikliklerle benzerlik taşıdığı da belirtilmiştir (Allenspach ve Mochel, 2022). Bu benzerlik, glutenin neden bazı köpek alt gruplarında klinik ilgi çektiğini açıklamaktadır; ancak aynı derleme, anti-gliadin ve anti-transglutaminaz antikorlarının klinikte henüz sınırlı yarara sahip olduğunu ve grup değerlerinin önemli ölçüde örtüştüğünü vurgulamıştır (Allenspach ve Mochel, 2022). Dolayısıyla beslenme kararı hâlen serolojik testten çok klinik yanıt üzerinden verilmelidir. Başka bir ifadeyle, kronik enteropatilerde diyet müdahalesinin etkinliği çoğu zaman laboratuvar belirteçlerinden ziyade klinik iyileşme ile değerlendirilir.

Mikrobiyota boyutu da beslenme planlamasının ayrılmaz parçasıdır. Allenspach ve Mochel (2022), kronik enteropatili köpeklerde disbiyozun inflamasyonu sürdüren bir bileşen olduğunu, bazı gram-negatif bakteri gruplarının arttığını ve bu nedenle OmpC/flagellin gibi bakteriyel hedeflere karşı antikorların araştırıldığını belirtmiştir. Penazzi ve ark. (2024) çalışmasında alternatif karbonhidrat kaynağı olarak kullanılan mercimek yan ürününün kısa zincirli yağ asitlerini artırması ve fekal pH'yı düşürmesi, diyetin mikrobiyal metabolizmayı dönüştürebileceğini pratik olarak göstermektedir. Bu nedenle gluteni azaltılmış diyetler yalnızca potansiyel antijen yükünü değil, lümenal mikrobiyal çevreyi ve bunun metabolik çıktısını da değiştirebilir. Bağırsak mikrobiyotasının ürettiği kısa zincirli yağ asitleri epitel enerji metabolizmasını destekleyerek mukozal bariyer fonksiyonunun korunmasına katkı sağlayabilir ve inflamatuvar yanıtın düzenlenmesinde rol oynayabilir.

Glutenle İlişkili Özel Fenotiplerde Beslenmenin Rolü

Köpeklerde glutenin klinik önem kazandığı en belirgin alan, özel ırk ve fenotiplerdir. Hardy ve Gajanayake (2022), Irish Setter'larda gliadin ve glutenine kalıtsal aşırı duyarlılık bulunduğunu; etkilenen köpeklerde iştahsızlık, kötü büyüme ve diyarenin glutensiz diyetle düzeldiğini bildirmiştir. Aynı derleme, Border Terrier'larda canine epileptoid cramping syndrome/paroksizmal diskinezi tablosunun gluten duyarlılığı veya intoleransı ile ilişkili olabileceğini ve glutensiz diyetle yanıt verdiğini belirtmiştir (Hardy ve Gajanayake, 2022). Kępińska-Pacelik ve ark. (2023) bu iki fenotipi literatür bağlamında yeniden anmıştır. Bu gözlemler, gluten duyarlılığının köpek popülasyonunda yaygın bir durumdan ziyade belirli genetik yatkınlığa sahip alt gruplarda ortaya çıkan spesifik bir klinik fenotip olabileceğini düşündürmektedir.

Rogers ve ark. (2023) çalışması, paroksizmal diskinezi şüphesi taşıyan çeşitli ırklardaki 31 köpekte modifiye gliadin peptid IgG ve transglutaminaz-2 IgA değerlendirmiş; 14 köpek pozitif, 7 köpek şüpheli ve 10 köpek negatif bulunmuştur. Pozitif köpeklerin bir bölümünde sıkı glutensiz diyet sonrasında ataklar tamamen ortadan kalkmış veya belirgin biçimde azalmıştır (Rogers ve ark., 2023). Bu çalışma, nörolojik fenotiplerde diyet yönetiminin yalnızca destekleyici değil, bazı olgularda belirleyici olabileceğini düşündürmektedir. Dolayısıyla belirli nörolojik sendromlarda diyet müdahalesi, farmakolojik tedavilere alternatif veya tamamlayıcı bir yaklaşım olarak değerlendirilebilmektedir.

Bununla birlikte Rogers ve ark. (2023) çalışmanın retrospektif yapıda olduğunu, diyetlerin standardize edilmediğini ve ticari glutensiz diyetlerin reçeteli glutensiz diyetlerle karşılaştırılmadığını belirtmiştir. Bu nedenle beslenme açısından çıkarılabilecek en güvenli sonuç, “her paroksizmal diskinezi olgusu glutene bağlıdır” şeklinde değil, “uygun fenotipte glutensiz diyet uygulaması değerlendirilmelidir ve diyet uyumu klinik sonucu belirgin biçimde etkileyebilir” şeklinde olmalıdır. Mevcut veriler gluten duyarlılığının belirli köpek alt popülasyonlarında klinik olarak anlamlı olabileceğini gösterse de bu ilişkinin mekanizmaları ve yaygınlığı hakkında daha kontrollü ve prospektif çalışmalara ihtiyaç vardır.

Sonuç

Köpeklerde gluten, beslenme bilimi açısından tek boyutlu bir kavram değildir. Bir yandan özellikle buğday bazı ürünlerde yapı, doku, bağlanma ve proses stabilitesi sağlayan önemli bir fonksiyonel bileşen olarak pet food teknolojisinin temel unsurlarından biridir; diğer yandan belirli duyarlı köpek alt gruplarında klinik belirtilerle ilişkilendirilebilen bir diyet bileşeni olarak değerlendirilir. Bu nedenle glutenin köpek beslenmesindeki yeri, yalnızca potansiyel bir alerjenin diyetten çıkarılması şeklinde dar bir çerçevede değil, rasyonun besin bileşimi, ürün teknolojisi ve klinik yönetim boyutları birlikte ele alınarak değerlendirilmelidir. Alternatif tahıllar ve yeni nesil protein kaynakları kullanılarak geliştirilen formülasyonlar, glutenin azaltıldığı veya tahıl kompozisyonunun değiştirildiği diyetlerin teknik olarak üretilebilir ve beslenme açısından uygulanabilir olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte alternatif hammaddelerin kullanımı yalnızca içerik değişikliği anlamına gelmez; palatabilité, sindirilebilirlik, dışkı kalitesi, ekstrüzyon davranışı ve postprandiyal metabolik yanıt gibi birçok parametrenin birlikte değerlendirilmesini gerektirir. Bu nedenle gluten azaltımına dayalı diyetlerin başarısı, yalnızca hangi hammaddenin çıkarıldığıyla değil, yeni rasyon mimarisinin bütünsel performansı ile belirlenir. Klinik beslenme pratiğinde gluten şüphesinin yönetiminde en güvenilir yaklaşım, dikkatle planlanmış eliminasyon diyeti ve kontrollü yeniden yükleme sürecidir. Bu süreçte ana rasyon, ödülleri, tamamlayıcı ürünler ve diğer tüm potansiyel diyet kaynaklarının birlikte kontrol edilmesi gerekir. Kronik enteropatiler bağlamında ise beslenme yalnızca





tetikleyici bir diyet bileşeninin ortadan kaldırılması anlamına gelmez; bağırsak bariyeri bütünlüğünü, mikrobiyota kompozisyonunu ve lümenal metabolit profilini etkileyen daha geniş bir fizyolojik müdahale olarak değerlendirilmelidir.

Sonuç olarak gluten, köpek popülasyonunun tamamı için evrensel olarak sakıncalı bir bileşen olarak görülmemelidir. Klinik önem, çoğunlukla belirli fenotiplerde ve belirli patofizyolojik koşullar altında ortaya çıkar. Bu nedenle en rasyonel yaklaşım, bireysel hayvanın klinik durumu, fenotipi ve beslenme gereksinimleri dikkate alınarak teknik olarak uygulanabilir, besinsel açıdan tam ve dengeli ve hayvan tarafından kabul edilebilir bir diyet planının oluşturulmasıdır. Köpek beslenmesinde glutenin rolü bu çok boyutlu çerçevede değerlendirildiğinde, beslenme yönetimi hem klinik iyileşmeyi destekleyen hem de uzun dönem rasyon güvenliğini sağlayan etkili bir araç hâline gelir.

Beyanlar

Etik Onay Belgesi

Bu çalışma derleme niteliğinde olduğundan etik kurul onayı gerektirmemektedir.

Yazar Katkı Beyanı

Ercan Mevliyaoğulları: Kavramsallaştırma, literatür taraması, yazım - gözden geçirme ve düzenleme, danışmanlık. Arda Yıldırım: Kavramsallaştırma, literatür taraması, yazım - orijinal taslak hazırlama. Tüm yazarlar son metni okuyup onaylamıştır.

Finansman Beyanı

Bu çalışma için herhangi bir kurum veya kuruluştan özel finansman alınmamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Teşekkür

Yazarlar bu çalışma için ayrıca teşekkür beyan etmemektedir.

Kaynaklar

- Allenspach, K., & Mochel, J. P. (2022). Current diagnostics for chronic enteropathies in dogs. *Veterinary Clinical Pathology*, 50(Suppl. 1), 18-28. <https://doi.org/10.1111/vcp.13068>
- Andoscia, J. E. (2024). Training gluten detection in dogs: Methodology using reward-based operant conditioning [Doctoral dissertation, The Chicago School].
- Hardy, J., & Gajanayake, I. (2022). Diagnosis and management of adverse food reactions in dogs and cats. In *Practice*, 44(4), 196-203. <https://doi.org/10.1002/inpr.197>
- Kepińska-Pacelik, J., Biel, W., Mizelińska, M., & Iwański, R. (2023). Chemical composition and palatability of nutraceutical dog snacks. *Applied Sciences*, 13(5), 2806. <https://doi.org/10.3390/app13052806>
- Kolb, N., Alf, V., Cappello, R., Matiassek, K., & Rosati, M. (2022). Novel association of gluten sensitivity with immune-mediated neuromuscular syndrome in a dog. *Neuromuscular Disorders*, 32(11-12), 903-907. <https://doi.org/10.1016/j.nmd.2022.06.007>
- Penazzi, L., Freire, T. G. B., Theodoro, S. S., Frias, J. L., Ala, U., Carciofi, A. C., & Prola, L. (2024). Lentils pasta by-product in a complete extruded diet for dogs and its effect on extrusion, digestibility, and carbohydrate metabolism. *Frontiers in Veterinary Science*, 11, 1429218. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1429218>
- Rogers, C. B., Meyerhoff, N., & Volk, H. A. (2023). Gluten serological testing in various dog breeds with paroxysmal dyskinesia. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1119441. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1119441>
- Zhang, J., Ji, Y., Yang, Y., & Wu, Z. (2025). Grain-free diets for dogs and cats: An updated review focusing on nutritional effects and health considerations. *Animals*, 15(14), 2020. <https://doi.org/10.3390/ani15142020>





Sürdürülebilir Hayvansal Üretimde Yem Verimliliği ve Yerel Kaynakların Döngüsel Kullanımı: Hassas Besleme, Hayvan Sağlığı ve Ürün Kalitesi Perspektifi

E. Mevliyaoğulları^{1*}, Serap Göncü², A. Yıldırım³

¹Başkent Üniversitesi, Kahramankazan Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Ankara, Türkiye.

²Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootehni Bölümü, 01330, Balcalı, Adana, Türkiye.

³Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootehni Bölümü, Tokat, Türkiye.

Abstract

Feed is the principal input in animal production because it accounts for the largest share of production costs and largely determines the environmental burden of the system. This review evaluates feed efficiency and the circular use of local resources in sustainable animal production from the perspectives of precision feeding, animal health, and product quality. Sustainable feed efficiency should not be interpreted merely as improving feed conversion ratio; it also encompasses reducing nutrient losses, safely integrating local and alternative resources into rations, using processing technologies appropriately, and continuously updating ration management through animal-based monitoring data. Local legumes, agro-industrial by-products, pasture-based resources, and biomass recoverable from the food chain have substantial potential to reduce external dependence and increase the resilience of production systems. However, this potential can only be realized when variability in chemical composition, storage-related risks, and antinutritional factors are managed through appropriate processing and regular analyses. Precision feeding systems, rumination monitoring, metabolic profiling, and product quality indicators make it possible to track the real sustainability outcomes of feed management. In conclusion, feed efficiency in sustainable animal production is not a narrow cost-reduction strategy but a holistic management framework that reduces environmental load, protects animal health and welfare, supports product quality, and reintegrates local resources into the production cycle.

Key Words: sustainable animal production, feed efficiency, local feed resources, precision feeding, circular bioeconomy, product quality

Sürdürülebilir Hayvansal Üretimde Yem Verimliliği ve Yerel Kaynakların Döngüsel Kullanımı: Hassas Besleme, Hayvan Sağlığı ve Ürün Kalitesi Perspektifi

Özet

Hayvansal üretimde yem, maliyetin en büyük bölümünü oluşturan ve aynı zamanda çevresel yükü belirleyen temel girdidir. Bu derleme, sürdürülebilir hayvansal üretimde yem verimliliği ile yerel kaynakların döngüsel kullanımını; hassas besleme, hayvan sağlığı ve ürün kalitesi boyutlarıyla birlikte değerlendirmektedir. Sürdürülebilir yem verimliliği yalnızca yem dönüşüm oranının iyileştirilmesi anlamına gelmemekte; besin maddesi kayıplarının azaltılmasını, yerel ve alternatif kaynakların güvenli biçimde rasyona entegre edilmesini, işleme teknolojilerinin doğru kullanılmasını ve hayvan bazlı izleme verileriyle rasyon yönetiminin sürekli güncellenmesini kapsamaktadır. Yerel baklagiller, agro-endüstriyel yan ürünler, mera temelli kaynaklar ve gıda zincirinden geri kazanılabilen biyokütleler, dışa bağımlılığı azaltma ve üretim sistemini daha dayanıklı hale getirme potansiyeli taşımaktadır. Ancak bu potansiyelin hayata geçirilebilmesi için kimyasal bileşim değişkenliğinin, depolama risklerinin ve anti-nutrisyonel faktörlerin uygun işleme ve düzenli analizle yönetilmesi gerekir. Hassas besleme sistemleri, ruminasyon izlemi, metabolik profil değerlendirmeleri ve ürün kalite göstergeleri ise yem yönetiminin gerçek sürdürülebilirlik çıktılarının izlenmesini sağlar. Sonuç olarak sürdürülebilir hayvansal üretimde yem verimliliği, yalnızca maliyet düşürmeye odaklanan dar bir yaklaşım değil; çevresel yükü azaltan, hayvan sağlığı ve refahını koruyan, ürün kalitesini destekleyen ve yerel kaynakları üretim döngüsüne geri kazandıran bütüncül bir yönetim çerçevesidir.

Anahtar Kelimeler: sürdürülebilir hayvansal üretim, yem verimliliği, yerel yem kaynakları, hassas besleme, döngüsel biyoeкономи, ürün kalitesi





Giriş

Hayvansal üretim sistemlerinde yem, işletme maliyetinin en büyük bölümünü oluşturan temel girdi olmanın ötesinde; arazi kullanımı, su tüketimi, besin maddesi kayıpları ve sera gazı emisyonları üzerinden üretimin çevresel performansını da belirlemektedir. Artan hayvansal protein talebi, iklim değişikliğinin yem üretimi üzerindeki baskısı, tarımsal arazilerin sınırlılığı ve tedarik zincirlerinde yaşanan kırılganlıklar, yem yönetiminin yalnızca ekonomik değil aynı zamanda ekolojik ve stratejik bir konu olarak ele alınmasını zorunlu kılmaktadır (FAO, 2022; Makkar, 2018; Mottet ve ark., 2017).

Bu nedenle sürdürülebilir yem verimliliği kavramı, klasik yem dönüşüm oranı yaklaşımının ötesine taşınmıştır. Güncel çerçevede amaç; hayvanın fizyolojik gereksinimlerini daha doğru karşılayan, sindirilebilirliği yükselten, azot ve fosfor kayıplarını azaltan, metan ve amonyak oluşum potansiyelini sınırlayan ve gıda-yem rekabetini düşüren rasyonlar oluşturmaktır (Dijkstra ve ark., 2013; Cottle ve Nolan, 2014; Salami ve ark., 2019). Bu yaklaşım, verimi yalnızca bir çıktı oranı olarak değil, kaynak kullanım etkinliği ve sistem dayanıklılığı ile birlikte değerlendirmektedir.

Sürdürülebilirlik tartışmasının ikinci önemli boyutu, yemin kaynağıdır. Yerel baklagiller, meraya dayalı kaba yemler, tarımsal ürün kalıntıları ve agro-endüstriyel yan ürünler; ithal hammaddelere bağımlılığı azaltma, lojistik kaynaklı emisyonları sınırlama ve atık biyokütleyi yeniden üretim döngüsüne kazandırma bakımından dikkat çekmektedir (Makkar, 2018; Ajila ve ark., 2012; Shah ve ark., 2025). Bununla birlikte bu materyallerin değişken kimyasal bileşimi, depolama güçlükleri ve anti-nutrisyonel bileşikler, işleme teknolojileri ve analitik izleme olmaksızın etkin biçimde değerlendirilememektedir (Ravindran, 2013; Galaverna ve ark., 2021).

Bu derleme, sürdürülebilir hayvansal üretimde yem verimliliği ile yerel kaynakların döngüsel kullanımını aynı çerçevede ele almakta; hassas besleme, hayvan sağlığı ve ürün kalitesi arasındaki etkileşimi bütüncül bir bakışla tartışmaktadır. Temel amaç, yem yönetimini yalnızca rasyon maliyeti veya yem dönüşüm oranı üzerinden değil; biyolojik verim, çevresel yük, refah ve ürün güvenliği üzerinden birlikte değerlendirebilen bir değerlendirme çerçevesi sunmaktır.

Sürdürülebilir Yem Verimliliğinin Kavramsal Çerçevesi

Klasik yem verimliliği değerlendirmeleri çoğunlukla birim canlı ağırlık artışı, süt verimi ya da yumurta üretimi başına tüketilen yem miktarı üzerine kuruludur. Oysa sürdürülebilir hayvansal üretimde asıl mesele, rasyona giren her besin maddesinin hayvansal ürüne en yüksek biyolojik etkinlikle dönüşmesini sağlarken üretim sisteminden kaynaklanan kayıpları azaltmaktır. Bu nedenle sindirilebilirlik, besin maddesi biyoyararlanımı, azot kullanım etkinliği, fosfor geri kazanımı ve dışkı-idrar yoluyla oluşan kayıplar birlikte değerlendirilmelidir (Dijkstra ve ark., 2013; Salami ve ark., 2019).

Ruminant sistemlerde sürdürülebilir yem verimliliği, özellikle azot döngüsü açısından ayrı bir önem taşımaktadır. Gereğinden yüksek protein arzı, çoğu zaman üretim performansına eşdeğer katkı sağlamadan amonyak oluşumunu ve idrarla azot kayıplarını artırmaktadır. Benzer biçimde, rumende hızlı fermente olan bileşenlerin hatalı dengelenmesi metan oluşumu ve sindirim bozuklukları bakımından risk yaratabilmektedir (Dijkstra ve ark., 2013; Cottle ve Nolan, 2014). Dolayısıyla sürdürülebilir besleme, “daha yoğun rasyon” ile “daha doğru rasyon” arasındaki farkı net biçimde gözetmek zorundadır.

Yem verimliliğinin bir başka belirleyici boyutu da gıda-yem rekabetidir. İnsan tarafından doğrudan tüketilebilen tahıl ve protein kaynaklarının yoğun biçimde hayvan beslemede kullanılması, sınırlı kaynak koşullarında sistem verimliliğini tartışmalı hale getirmektedir. Mottet ve ark. (2017), hayvancılık sistemlerinin insan tarafından tüketilemeyen biyokütleyi yüksek kaliteli hayvansal proteine dönüştürme kapasitesinin sürdürülebilirlik açısından stratejik değer taşıdığını vurgulamıştır. Bu nedenle yerel yem kaynakları ve yan ürünler yalnızca maliyeti düşüren ikame girdiler değil; sistemin etik, ekolojik ve ekonomik meşruiyetini güçlendiren bileşenlerdir.

Aynı çerçevede tedarik güvenliği ve bölgesel dayanıklılık da sürdürülebilir yem verimliliğinin ayrılmaz parçalarıdır. Dışa bağımlı yem zincirleri, fiyat dalgalanmaları ve lojistik aksaklıklar karşısında özellikle küçük ve orta ölçekli işletmeleri kırılgan hale getirmektedir. Yerel kaynakların rasyonlara planlı biçimde entegre edilmesi, yalnızca besleme stratejisini değil, bütün işletme yönetimini daha dirençli kılan bir yaklaşım sunmaktadır (Makkar, 2018; Salami ve ark., 2019).

Hassas Besleme ve Hayvan Bazlı İzleme

Hassas besleme, her hayvana ya da benzer özellik gösteren alt gruplara ihtiyaç duydukları zamanda ve ihtiyaç duydukları düzeyde besin maddesi sunmayı hedefleyen veri temelli bir yönetim yaklaşımıdır. Geleneksel sürü ortalamasına dayalı besleme, düşük verimli hayvanlarda aşırı, yüksek verimli hayvanlarda ise yetersiz besleme riskini artırabilmektedir. Buna karşılık hassas besleme; canlı ağırlık, büyüme veya laktasyon dönemi, üretim düzeyi, çevre koşulları ve yem tüketim davranışı gibi değişkenleri birlikte değerlendirerek rasyon yoğunluğunun daha doğru belirlenmesini sağlar (Banhazi ve ark., 2012; Halachmi ve ark., 2019; National Research Council, 2016; Pomar ve Remus, 2019).





Bu yaklaşımın sürdürülebilirlik bakımından en önemli getirilerinden biri, gereksiz protein ve mineral fazlasının azaltılmasıdır. Besin maddesi arzı ile hayvanın fizyolojik gereksinimi arasındaki fark daraldıkça hem ekonomik kayıplar azalmakta hem de dışkı ve idrar yoluyla çevreye taşınan azot ve fosfor miktarı düşmektedir (Dijkstra ve ark., 2013; Salami ve ark., 2019). Bu nedenle hassas besleme, yalnızca performans optimizasyonu için değil, çevresel yükün azaltılması için de temel araçlardan biridir.

Ruminasyon davranışı, ruminantlarda sindirim etkinliği ile refah durumunu aynı anda yansıtan güçlü bir fonksiyonel göstergedir. Geviş getirme süresi ve sıklığı; rasyonun fiziksel olarak etkili lif düzeyi, partikül büyüklüğü, rumen tamponlanması, dinlenme davranışı ve çevresel stres ile yakından ilişkilidir. Bu nedenle ruminasyon verileri, yem yönetiminin sahadaki sonuçlarını izlemek için yalnızca davranışsal değil, aynı zamanda beslenmeye duyarlı biyolojik sinyaller olarak değerlendirilmelidir (Banhazi ve ark., 2012; Halachmi ve ark., 2019).

Adana koşullarında sığır, koyun ve keçilerde yürütülen gözlemsel çalışmada, türler arasında geviş getirme sayısı bakımından anlamlı farklılıklar belirlenmiş; keçiler en yüksek genel ortalama göstermiştir. Aynı çalışmada yatar pozisyonda geviş getirme düzeyi, ayaktaki değer üzerinde gerçekleşmiştir (Mevliyaoğulları ve Göncü, 2025b). Bu bulgu, dinlenme alanı konforu ile rasyonun fiziksel yapısının birlikte düşünülmesi gerektiğini göstermektedir. Yani ruminasyon verisindeki değişim, yalnızca yem formülasyonuna değil, barınak kalitesine ve refah koşullarına ilişkin erken uyarı niteliği de taşıyabilir.

Dijital sensörler ve sürü yönetim yazılımlarıyla desteklenen ruminasyon izleme sistemleri, sindirim bozuklukları ve verim kayıpları oluşmadan önce karar vermeyi kolaylaştırmaktadır. Ancak bu veriler tek başına yorumlanmamalı; yem tüketimi, süt bileşimi, çevresel koşullar ve barınak yönetimi ile birlikte değerlendirilmelidir (Banhazi ve ark., 2012; Halachmi ve ark., 2019).

Yem verimliliğinin sürdürülebilir sayılabilmesi için yüksek performansın metabolik bozulma pahasına sağlanmaması gerekir. Bu gereklilik özellikle erken laktasyon döneminde daha da belirginleşmektedir. Yüksek ve düşük verimli Siyah Alaca ineklerde yürütülen çalışmada, gruplar arasında birçok kan parametresi açısından önemli fark bulunmamakla birlikte, yüksek verimli grupta kolesterol ve gama glutamil transferaz düzeylerinin daha yüksek, fosfor düzeyinin ise daha düşük seyrettiği bildirilmiştir (Mevliyaoğulları ve Göncü, 2025c).

Bu sonuçlar, aynı toplam karma rasyonla beslenen sürülerde dahi yüksek verimli hayvanların enerji, protein ve mineral dengesi bakımından daha hassas bir izleme gerektirdiğini ortaya koymaktadır. Erken laktasyon metabolitleri; gizli enerji açığı, mineral dengesizliği ve karaciğer yükü gibi sorunların erken fark edilmesini sağlayarak rasyonun zamanında revize edilmesine katkı verir. Böylece metabolik profil izlemesi, hassas beslemenin laboratuvar temelli tamamlayıcısı olarak değerlendirilebilir.

Yerel Kaynakların Döngüsel Kullanım Potansiyeli

Döngüsel biyoeкономи yaklaşımı, üretim sistemi içinde ortaya çıkan veya insan tüketimine uygun olmayan biyokütlenin yeniden değerlendirilmesini esas almaktadır. Hayvancılık bu açıdan önemli bir dönüştürücü role sahiptir; çünkü tarımsal yan ürünler, işleme artıkları ve mera biyokütlesi, uygun rasyon yönetimi ile yüksek kaliteli hayvansal ürüne dönüştürülebilmektedir (Makkar, 2018; Mottet ve ark., 2017).

Yerel baklagiller ile bölgesel yağ sanayi yan ürünleri, özellikle protein arzı bakımından dışa bağımlılığı azaltabilecek başlıca seçenekler arasında yer almaktadır. Bakla, bezelye, ayçiçeği küspesi ve kanola küspesi gibi kaynaklar; soya küspesine alternatif veya tamamlayıcı olarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte tanen, tripsin inhibitörü, glikozinolat, yüksek ham selüloz ve fitik asit gibi bileşenler kullanım düzeyini sınırlayabilmektedir (Ravindran, 2013; Galaverna ve ark., 2021). Bu nedenle bu hammaddelerin rasyona entegrasyonu, uygun işleme ve kontrollü formülasyonla birlikte yürütülmelidir.

Şeker pancarı işleme kalıntıları, meyve-sebze posaları, bira ve nişasta endüstrisi yan ürünleri ile tarımsal ürün kalıntıları, sürdürülebilir yem yönetiminin en dikkat çekici bileşenlerindendir. Bu materyaller hem atık yükünü azaltmakta hem de bölgesel erişilebilirliğe bağlı olarak ekonomik rasyon bileşenleri oluşturmaktadır (Ajila ve ark., 2012; Shah ve ark., 2025). Ruminant beslemede özellikle sindirilebilir lif içeriği yüksek yan ürünler, rumen fermentasyonuna olumlu katkı sağlayabilmektedir.

Buna karşılık yan ürünlerin besin değeri parti bazında değişkenlik gösterebilmekte; yüksek nem içeriği, bozulma riski, mikrobiyal kontaminasyon ve lojistik kısıtlar pratik kullanımın önünde engel oluşturabilmektedir. Bu nedenle döngüsel kullanım stratejilerinde düzenli besin analizi, kurutma veya silajlama, depolama güvenliği ve tedarik planlaması birlikte ele alınmalıdır (Makkar, 2018; Ajila ve ark., 2012; Shah ve ark., 2025).

Yerel kaynak kullanımının yalnızca alternatif kesif yemlerle sınırlandırılması eksik bir yaklaşımdır. Sürdürülebilir hayvansal üretim aynı zamanda bölgesel kaba yem tabanının güçlendirilmesini, mera ıslahını, kontrollü otlatmayı ve su kullanım etkinliği yüksek yem bitkilerinin yaygınlaştırılmasını gerektirir. Bu çerçevede mera ve kaba yem stratejileri, yem güvenliği ile çevresel sürdürülebilirliğin kesişim noktasında yer almaktadır (Salami ve ark., 2019; Shah ve ark., 2025).

Kuraklığa dayanıklı yem bitkileri ve bölgesel ekolojiye uyumlu otlatma sistemleri, özellikle iklim baskısının arttığı bölgelerde dışa bağımlılığı azaltarak işletme direncini yükseltmektedir. Böylece sürdürülebilir yem verimliliği, yalnızca rasyon formülasyonunda değil, işletmenin toplam yem üretim deseni içinde de yeniden kurgulanmaktadır.





Yem İşleme Teknolojileri ve Anti-Nutrisyonel Faktörlerin Yönetimi

Yerel ve alternatif yem kaynaklarının etkin biçimde kullanılabilmesi çoğu zaman uygun işleme teknolojilerine bağlıdır. Öğütme, peletleme, buharla işleme, flake etme, ekstrüzyon ve fermentasyon gibi uygulamalar; yemin partikül yapısını, nişasta jelatinizasyon düzeyini, proteinlerin erişilebilirliğini ve yem tüketim özelliklerini değiştirebilmektedir (Ravindran, 2013; Behnke, 1994; Abdollahi ve ark., 2013; Zinn ve ark., 2011). Bu sayede biyoyararlanım artırılabilir ve bazı yan ürünlerin rasyondaki kullanım eşiği yükseltilebilir.

Bununla birlikte işlem şiddetinin aşırı artması her zaman avantaj sağlamaz. Fazla ince öğütme, ruminantlarda fiziksel etkili lif değerini düşürebilir; aşırı ısı işlem ise bazı amino asitlerde kalite kaybına yol açabilir. Kanatlı ve diğer tek mideli hayvanlarda ise yem yapısının sindirim sistemi fonksiyonları üzerindeki etkisi ayrıca önemlidir; partikül yapısı ve yem formu, öğütücü mide işlevi ve besin maddesi yararlanımını etkileyebilmektedir (Svihus, 2011).

Rasyona eklenen dış kaynaklı enzimler, yerel ve alternatif hammaddelerin kullanımını kolaylaştıran biyokimyasal araçlar arasında yer almaktadır. Fitaz, ksilanaz ve beta-glukanaz gibi enzimler; fitata bağlı minerallerin açığa çıkmasını, hücre duvarı fraksiyonlarının parçalanmasını ve enerji kullanımının iyileşmesini sağlayabilmektedir (Ravindran, 2013; Bedford ve Cowieson, 2012). Böylece aynı rasyon daha düşük kayıpla değerlendirilebilmekte ve çevresel atım azaltılabilmektedir.

Bitki kökenli alternatif yemlerde bulunan tanenler, lektinler, tripsin inhibitörleri, glikozinolatlar ve fitat gibi bileşikler, özellikle baklagil ve yağlı tohum kaynaklarının kullanımında teknik sınırlılık oluşturmaktadır (Galaverna ve ark., 2021; Francis ve ark., 2001). Isıl işlem, fermentasyon, enzim ilavesi ve uygun kullanım oranlarının belirlenmesi, bu sınırlılıkların yönetilmesinde temel stratejilerdir. Bu nedenle bir hammaddenin “yerel” olması tek başına yeterli değildir; aynı zamanda güvenli, standart ve sindirilebilir olması gerekir.

Döngüsel kullanımın özel bir alt başlığını, gıda zincirinde oluşan tüketilebilir nitelikteki artıkların yem hammaddesine dönüştürülmesi oluşturmaktadır. Ekmek atığı bu kapsamda dikkat çekici bir örnektir. Mevlıyaoğulları ve ark. (2023), ekmek kırıntısının köpek mamasında bileşen olarak kullanımını inceleyen çalışmalarında, özellikle ekstrüde ürünlerde ekmek oranı arttıkça ekspansiyon indeksinin yükseldiğini, bulk density ve spesifik mekanik enerji değerlerinin düştüğünü, kuru madde sindirilebilirliğinin ise büyük ölçüde korunduğunu göstermiştir.

Çalışmada yüksek kullanım düzeylerinde ham protein sindirilebilirliğinde bir miktar düşüş bildirilmiş olsa da, sonuçlar işleme teknolojisinin atık biyokütleyi yem zincirine güvenli ve işlevsel biçimde dahil etmede belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır (Mevliyaoğulları ve ark., 2023). Bu örnek, gıda atıklarının doğrudan değil; kurutma, öğütme, ekstrüzyon veya benzeri kontrollü süreçlerle standardize edilmiş yem hammaddeleri olarak değerlendirilmesi gerektiğini açıkça göstermektedir.

Yem Verimliliği, Hayvan Sağlığı, Refah ve Ürün Kalitesi

Sürdürülebilir yem yönetiminin başarısı, yalnızca rasyon maliyetinin düşmesiyle değil; hayvan sağlığının korunması, refahın sürdürülmesi ve nihai ürün kalitesinin istikrarlı biçimde devam etmesiyle ölçülmelidir. Bu nedenle süt bileşimi, somatik hücre sayısı, metabolik göstergeler ve davranışsal sinyaller, yem verimliliğinin işletme düzeyindeki gerçek çıktıları olarak değerlendirilmelidir.

Pozanti ilçesindeki dağ köyü süt sığırcılığı işletmelerinde yürütülen çalışmada, süt yağ oranı, protein, yağsız kuru madde, laktoz ve somatik hücre sayısı bakımından işletmeler arasında dikkate değer farklılıklar belirlenmiştir. Ortalama somatik hücre sayısının yüksek bulunması ve örneklerin önemli bir bölümünde kabul sınırlarının aşılması, sürdürülebilirliğin yalnızca yem teminiyle değil; besleme yeterliliği, meme sağlığı, hijyen ve sürü yönetimiyle birlikte ele alınması gerektiğini göstermektedir (Mevliyaoğulları ve Göncü, 2025a).

Benzer şekilde, ruminasyon davranışındaki sapmalar veya erken laktasyondaki metabolik profil değişimleri, çoğu zaman performans kaybı ortaya çıkmadan önce görülebilen gizli uyarı işaretleridir. Bu nedenle yüksek verim sağlayan ancak somatik hücre sayısı yükselen, geviş getirme davranışı bozulan veya metabolik dengesizlik yaşayan sürülerde elde edilen yem verimliliği sürdürülebilir kabul edilemez. Buna karşılık yerel kaynaklara dayalı, iyi işlenmiş ve hayvan bazı verilerle sürekli izlenen rasyonlar; daha dengeli ürün kalitesi, daha iyi sağlık çıktıları ve daha dayanıklı işletme yapıları oluşturabilir (Mevliyaoğulları ve Göncü, 2025a, 2025b, 2025c).

Uygulamaya Yönelik Bütüncül Yol Haritası

Uygulamanın ilk adımı, işletme veya bölge düzeyinde kullanılabilecek yem kaynaklarının sistematik biçimde tanımlanmasıdır. Yerel baklagiller, mera kaynakları, yan ürünler ve gıda işleme artıkları; kuru madde, ham protein, lif, enerji ve mineral içerikleri bakımından düzenli analiz edilmeden rasyonlara güvenle dahil edilmemelidir. Parti bazında değişkenlik gösteren hammaddelerde bu analiz zorunluluk düzeyindedir.

İkinci adım, yerel ve alternatif hammaddelerin depolama ve işleme süreçlerinin standartlaştırılmasıdır. Nemli yan ürünlerde kurutma veya silajlama, partikül yapısı hassas hammaddelerde uygun öğütme, anti-nutrisyonel risk taşıyan materyallerde ısı işlem, fermentasyon veya enzim kullanımı planlı biçimde uygulanmalıdır (Ravindran, 2013; Galaverna ve ark., 2021; Behnke, 1994; Abdollahi ve ark., 2013; Zinn ve ark., 2011; Svihus, 2011; Bedford





ve Cowieson, 2012). Aksi halde ekonomik görünen bir hammadde, bozulma ve düşük sindirilebilirlik nedeniyle gizli kayıp kaynağına dönüşebilir.

Üçüncü adım, rasyon performansının yalnızca yem tüketimi ve verim kayıtlarıyla değil; ruminasyon davranışı, süt bileşimi, erken laktasyon metabolik göstergeleri ve sağlık verileri ile birlikte izlenmesidir. Hassas besleme sistemleri ancak bu geri bildirimler düzenli biçimde okunup yorumlandığında gerçek anlamda işlevsel hale gelir (Banhazi ve ark., 2012; Halachmi ve ark., 2019; Mevliyaogulları ve Göncü, 2025a, 2025b, 2025c). Bu nedenle sensör verileri, laboratuvar bulguları ve saha gözlemleri tek bir karar çerçevesinde birleştirilmelidir.

Son adım, sürdürülebilirliği yalnızca yem maliyeti veya yem dönüşüm oranı üzerinden izlememektir. Azot ve fosfor kayıpları, yerel kaynak kullanım oranı, lojistik bağımlılık, hayvan refahı göstergeleri ve ürün kalitesi parametreleri de performans değerlendirmesine dahil edilmelidir (Dijkstra ve ark., 2013; Salami ve ark., 2019). Böylece yem verimliliği, işletmenin çevresel ve ekonomik dayanıklılığını birlikte yöneten stratejik bir göstergeye dönüşebilir.

Sonuç

Sürdürülebilir hayvansal üretimde yem verimliliği, yalnızca daha ucuz veya daha yoğun rasyonlar oluşturma meselesi değildir; hayvanın fizyolojik gereksinimini doğru karşılayan, besin maddesi kayıplarını azaltan, çevresel yükü sınırlayan ve yerel kaynakları üretim döngüsüne geri kazandıran bütüncül bir yönetim modelidir. Bu çerçevede hassas besleme, yerel kaynakların döngüsel kullanımı, uygun işleme teknolojileri ve hayvan bazlı izleme sistemleri birbirini tamamlayan bileşenler olarak değerlendirilmelidir.

Literatür ve uygulamalı örnekler birlikte değerlendirildiğinde; ruminasyon verisi, metabolik profil göstergeleri ve ürün kalite parametrelerinin, yem yönetiminin başarısını izlemek için güçlü araçlar sunduğu görülmektedir. Geleceğin sürdürülebilir besleme stratejileri; yerel kaynak envanteri, analitik kalite kontrol, proses standardizasyonu ve veri temelli karar destek sistemlerini aynı çatı altında birleştiren modeller üzerine kurulmalıdır. Böyle bir yaklaşım, hem işletme direncini artıracak hem de hayvansal üretimin çevresel ayak izini azaltacaktır.

Kaynaklar

- Abdollahi, M. R., Ravindran, V., & Svihus, B. (2013). Pelleting of broiler diets: An overview with emphasis on pellet quality and feed intake. *Animal Feed Science and Technology*, 179(1-4), 1-23.
- Ajila, C., Brar, S., Verma, M., Tyagi, R., Godbout, S., & Valero, J. (2012). Bio-processing of agro-byproducts to animal feed. *Critical Reviews in Biotechnology*, 32, 382-400.
- Banhazi, T. M., Lehr, H., Black, J. L., Crabtree, H., Berckmans, D., & Goss, M. (2012). Precision livestock farming: An international review of scientific and commercial aspects. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 5(3), 1-9.
- Bedford, M. R., & Cowieson, A. J. (2012). Exogenous enzymes and their role in optimizing feed efficiency. *Animal Feed Science and Technology*, 173(1-2), 8-16.
- Behnke, K. C. (1994). Factors affecting pellet quality. *Proceedings of the Maryland Nutrition Conference for Feed Manufacturers*, 44-54.
- Cottle, D. J., & Nolan, J. V. (2014). Metabolic strategies to reduce methane emissions from ruminants. *Animal Production Science*, 54(12), 2060-2070.
- Dijkstra, J., Oenema, O., van Laar, H., Spek, J. W., Wiedemann, S., & Bannink, A. (2013). Nitrogen efficiency and its role in sustainable dairy farming. *Journal of Agricultural Science*, 151(1), 63-74.
- FAO. (2022). *World food and agriculture: Statistical yearbook 2022*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Francis, G., Kerem, Z., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (2001). Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture*, 199(3-4), 197-227.
- Galaverna, G., Dall'Asta, C., & Sforza, S. (2021). Effects of processing on antinutritional factors in grain legumes: A review. *Food Chemistry*, 341, 128-142.
- Halachmi, I., Guarino, M., Bareille, N., & Pastell, M. (2019). Smart breeding as a strategy for sustainable livestock farming. *Animal*, 13(8), 1729-1739.
- Makkar, H. P. S. (2018). Feed resources for sustainable livestock production. *Animal Feed Science and Technology*, 243, 1-11.
- Mevliyaogulları, E., & Göncü, S. (2025a). Dağ köyleri süt sığırları işletmelerinde süt kompozisyonu ve kalite özelliklerinin incelenmesi: Adana ili Pozantı ilçesi örneği. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 13(11), 3386-3390.
- Mevliyaogulları, E., & Göncü, S. (2025b). Koyun, keçi ve sığırlarda vücut pozisyonunun geniş getirme davranışı ve beslenme üzerine etkisi. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 13(12), 4064-4070.
- Mevliyaogulları, E., & Göncü, S. (2025c). Yüksek ve düşük verimli Siyah Alaca ineklerde erken laktasyon dönem kan parametreleri değerlendirmesi. *Çukurova Journal of Agriculture and Food Science*, 40(2), 252-259.





- Mevliyaoğulları, E., Karşı, M. A., & Mert, B. (2023). Utilizing surplus bread as an ingredient in dog food: Evaluating baking and extrusion processing on physicochemical properties and in vitro digestibility performance. *Journal of Cereal Science*, 113, 103741.
- Mottet, A., de Haan, C., Falcucci, A., Tempio, G., Opio, C., & Gerber, P. (2017). Livestock: On our plates or eating at our table? A new analysis of the feed efficiency of livestock systems. *Global Food Security*, 14, 1-8.
- National Research Council. (2016). Nutrient requirements of beef cattle (8th rev. ed.). The National Academies Press.
- Pomar, C., & Remus, A. (2019). Precision pig feeding: A strategy to improve the efficiency of nitrogen utilization. *Animal*, 13(S1), S52-S59.
- Ravindran, V. (2013). Feed enzymes: The current state of play. *Feed Compounder*, 33(1), 16-22.
- Salami, S. A., Guinguina, A., Agboola, A. F., Ojo, A. O., Akamo, A. J., & Garba, S. (2019). Sustainability of the global ruminant sector: The role of local and alternative feed resources. *Reviews in Agricultural Science*, 7, 30-46.
- Shah, A. M., Zhang, H., Shahid, M., Ghazal, H., Shah, A. R., Niaz, M., et al. (2025). The vital roles of agricultural crop residues and agro-industrial by-products to support sustainable livestock productivity in subtropical regions. *Animals*, 15(8), 1184.
- Svihus, B. (2011). The gizzard: Function, influence of diet structure and effects on nutrient availability. *World's Poultry Science Journal*, 67(1), 79-86.
- Zinn, R. A., Barreras, A., Owens, F. N., & Plascencia, A. (2011). Steam-flaking of corn for beef cattle: Effects on integration of starch utilization and digestive function. *Animal Feed Science and Technology*, 166-167, 124-139.





Bioactive *Sesamum indicum* L. seed oil from Supercritical CO₂ Extraction: Fatty Acid Profile, Nutritional energy and Antimicrobial Potential

Elifgöl ÇAYIR^{1*}, Tuba ERİM¹, Hatice Banu KESKİNKAYA^{1,2}, Süleyman DOĞU^{2,3}

¹Necmettin Erbakan University, Faculty of Science, Department of Biotechnology, 42090, Konya, Türkiye.

²Necmettin Erbakan University, Medical and Cosmetic Plants Application and Research Center, 42090, Konya, Türkiye.

³Necmettin Erbakan University, Meram Vocational School, Department of Plant and Animal Production, 42090, Konya, Türkiye.

Abstract

This study aimed to evaluate the fatty acid composition, nutritional energy value, and antimicrobial activity of *Sesamum indicum* L. seed oil obtained using supercritical carbon dioxide (SC-CO₂) extraction. Supercritical CO₂ extraction has emerged as a green extraction technology due to its non-toxic nature, low critical temperature and pressure, and the absence of solvent residues in the final product. The seeds were subjected to supercritical carbon dioxide extraction at 420 bar and 47 °C for 120 min. The fatty acid profile of the obtained oil was analyzed using gas chromatography equipped with a flame ionization detector (GC-FID). The nutritional energy value was estimated using standard macronutrient energy conversion factors. Antimicrobial activity was evaluated by the broth microdilution method against selected Gram-positive bacteria (*Staphylococcus aureus* ATCC 43300, *Bacillus cereus* ATCC 11778, and *Sarcina lutea* ATCC 9341) and Gram-negative bacteria (*Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 70603, and *Salmonella enteritidis* ATCC 13076). The antimicrobial effects were expressed as minimum inhibitory concentration (MIC) values. The analysis revealed that linoleic acid (43.26%), oleic acid (40.24%), and palmitic acid (9.27%) were the predominant fatty acids present in the sesame oil. Overall, unsaturated fatty acids accounted for more than 83% of the total fatty acid content. The calculated nutritional energy value of the oil was approximately 895.14 kcal/100 g (3745.26 kJ/100 g). Antimicrobial evaluation demonstrated notable inhibitory activity, with MIC values of 6.25 mg/mL against *E. coli*, 6.25 mg/mL against *S. lutea*, and 3.12 mg/mL against *B. cereus*. These findings suggest that SC-CO₂ extraction effectively preserves both the nutritional quality and functional bioactivity of *S. indicum* L. seed oil. Overall, SC-CO₂ extraction provides an efficient and environmentally friendly approach for producing *S. indicum* L. seed oil rich in unsaturated fatty acids, with high caloric content and considerable antimicrobial activity. These findings highlight the potential of this technology for developing high-value products for the food, cosmetic, and pharmaceutical industries.

Key Words: *Sesamum indicum* L., supercritical CO₂ extraction, fatty acid composition, nutritional value, MIC.





Chemical Composition and Antimicrobial Activity of *Lavandula angustifolia* L. Essential Oil Determined by GC-MS

Ahmet Ali KARABACAK^{1*}, Hatice Banu KESKİNKAYA^{1,2}

¹Department of Biotechnology, Faculty of Science, Necmettin Erbakan University, Konya, Turkey.

²Medical and Cosmetic Plants Application and Research Center, Necmettin Erbakan University Konya, Turkey,

Abstract

Lavandula angustifolia L. is one of the most valuable aromatic plants widely used in pharmaceutical, cosmetic, and food industries due to its essential oil rich in bioactive volatile compounds. In this study, the chemical composition and antimicrobial activity of *L. angustifolia* essential oil were investigated. The volatile constituents were analyzed by gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS) in Selcuk University İLTEK. The chemical composition of *L. angustifolia* L. essential oil was analyzed by GC–MS. The sample was diluted in hexane to obtain a 2000 ppm solution and injected into an Agilent 7890B GC–MS system equipped with an HP-5MS column (30 m × 0.25 mm × 0.25 µm). Helium was used as the carrier gas at 1.0 mL/min. The injector temperature was 220 °C with a split ratio of 50:1 and an injection volume of 1 µL. The oven temperature was programmed from 60 °C (5 min) to 240 °C at 4 °C/min, with a 10 min hold, and spectra were recorded in scan mode. GC–MS analysis revealed a complex mixture of monoterpenes and oxygenated monoterpenes. The major component of the essential oil was linalool (35.10%), followed by camphor (~4.85%), eucalyptol (1,8-cineole) (~4.28%), and borneol (~3.67%). In addition, minor constituents such as α -pinene, camphene, β -myrcene, β -ocimene, and γ -terpinene. Antimicrobial activity was determined by the broth microdilution method against selected Gram-positive (*Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Sarcina lutea*) and Gram-negative (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*, *Salmonella enteritidis*) bacteria. The essential oil showed notable antibacterial activity, with MIC values of 3.125 mg/mL for *B. cereus*, 1.562 mg/mL for *S. lutea*, 6.25 mg/mL for *S. aureus*, 6.25 mg/mL for *E. coli* and *K. pneumoniae*, and 3.125 mg/mL for *S. enteritidis* and *P. aeruginosa*. cymene were also identified. Overall, the findings indicate that *L. angustifolia* L. essential oil rich in oxygenated monoterpenes, particularly linalool, exhibits promising antibacterial activity and may have potential applications in pharmaceutical, cosmetic, and natural antimicrobial formulations.

Key Words: *Lavandula angustifolia* L., essential oil, GC–MS, linalool, antimicrobial activity, MIC





Yield Performance and Genetic Gain Potential of Indigenous Leafy Vegetables Under Different Harvest Frequencies

Yusuf Abdulkareem¹, Yusuf Abdulkareem¹

¹Department of Crop Production, Faculty of Agriculture, Kwara State University, Malete, Nigeria.

Abstract

Indigenous leafy vegetables such as African spinach (*Amaranthus hybridus*), Lagos spinach (*Celosia argentea*), and Jute mallow (*Corchorus olitorius*) are widely cultivated and consumed in tropical and subtropical regions due to their high nutritional value and contribution to food security. These vegetables provide essential vitamins, minerals, dietary fibre, and plant-based protein that support healthy diets and improve nutritional status. However, their productivity is often affected by poor agronomic practices, particularly inappropriate harvesting frequency and cutting cycles, which influence vegetative growth and cumulative leaf yield. This study evaluated the response of open-pollinated varieties of African spinach, Lagos spinach, and Jute mallow to different harvesting regimes in order to determine the most suitable harvest interval for improved cumulative leaf yield under the Southern Guinea Savannah agro-ecological conditions of Nigeria. A screen house experiment was conducted using a Completely Randomized Design with three replications. Six vegetable varieties were subjected to three harvesting regimes, namely weekly harvesting, fortnightly harvesting, and harvesting at maturity. Data were collected on plant height, stem girth, number of leaves, and cumulative leaf yield and analysed using analysis of variance. Results revealed significant ($p < 0.05$) genotypic variability among the evaluated vegetables across harvesting regimes. African spinach (Tete – Local) recorded the highest cumulative leaf yield, followed by Lagos spinach (Shoko – Local), whereas Jute mallow varieties produced comparatively lower yields. The fortnightly harvesting regime produced the highest cumulative yield and exhibited high heritability (0.70) with genetic advance of 25%. Fortnightly harvesting is therefore recommended for improving cumulative leaf yield in indigenous leafy vegetables.

Key Words: Indigenous leafy vegetables, Harvesting frequency, Cumulative leaf yield, Genetic variability, Southern Guinea Savannah

Introduction

Indigenous leafy vegetables such as African spinach (*Amaranthus hybridus*), Lagos spinach (*Celosia argentea*), and Jute mallow (*Corchorus olitorius*) play a vital role in enhancing food and nutritional security across tropical and subtropical regions. These vegetables are widely grown and consumed in West Africa because they are rich in essential nutrients, including vitamins, minerals, dietary fibre, and plant-based protein, all of which contribute to improved health and a more diversified diet (Schipper, 2000; Grubben and Denton, 2004).

African spinach (*Amaranthus hybridus*), a member of the Amaranthaceae family, is among the most commonly cultivated leafy vegetables in tropical Africa. It is valued for its fast growth, high biomass production, and ability to adapt to a wide range of environmental conditions (Mkeni et al., 2007). In the same way, Lagos spinach (*Celosia argentea*), which also belongs to the Amaranthaceae family, is widely cultivated for its edible leaves and tender shoots that are commonly used in soups and stews (Denton, 2004). Jute mallow (*Corchorus olitorius*), a member of the Malvaceae family, is similarly cultivated for its mucilaginous leaves, which are rich in micronutrients and essential minerals, making it an important part of the diet for both rural and urban populations (Opabode and Adebooye, 2005; Nyadanu et al., 2017).

Despite their nutritional value, the productivity of these indigenous leafy vegetables is often limited by poor management practices, particularly inappropriate harvesting frequency and cutting cycles. Leaf harvesting directly affects vegetative growth by reducing the photosynthetic surface area needed for carbohydrate production and biomass accumulation. Frequent defoliation can slow down the regeneration of new leaves, while delayed harvesting may result in senescence and a shift of assimilates towards reproductive growth rather than vegetative development (Kiozya et al., 2001; Masumba, 2004).

Harvesting regime and cutting cycle therefore represent important management practices that influence leaf yield, regrowth ability, and yield productivity in leafy vegetables. Harvesting at appropriate intervals gives the plant enough time to recover through assimilate redistribution and meristematic regrowth following defoliation, which ultimately improves cumulative leaf production (Barg et al., 2008; Gil et al., 2012). On the other hand, excessive harvesting frequency can reduce leaf size and delay the formation of new leaves, thereby limiting overall biomass production (Dupriez and De Leener, 1989).





Open-pollinated varieties (OPVs) of indigenous vegetables are widely cultivated by farmers because of their adaptability, genetic diversity, and ability to maintain stable yields under varying environmental conditions (Glaszmann et al., 2010). However, there is limited information on how OPVs of African spinach, Lagos spinach, and Jute mallow respond to different harvesting regimes and cutting cycles under the Southern Guinea Savannah agro-ecological conditions of Nigeria.

This study was therefore conducted to evaluate the response of open-pollinated varieties of African spinach (*Amaranthus hybridus*), Lagos spinach (*Celosia argentea*), and Jute mallow (*Corchorus olitorius*) to different harvesting regimes and cutting cycles in order to identify the optimal harvest frequency for improved cumulative leaf yield.

Materials And Methods

Experimental Site

The experiment was conducted in the Screen House of Kwara State University (KWASU), Malete, located at latitude 08°43'N and longitude 4°28'E, at an altitude of approximately 316 m above sea level within the Southern Guinea Savannah agro-ecological zone of Nigeria. The study area is characterized by a tropical climate with an average annual rainfall of about 1500 mm, mean maximum temperature of approximately 38°C, relative humidity of about 75%, and an average daily photoperiod of 7.1 hours. The experiment was carried out between March and June 2022.

Planting Materials

Planting materials consisted of open-pollinated varieties of three indigenous leafy vegetables, namely African spinach (*Amaranthus hybridus*), Lagos spinach (*Celosia argentea*), and Jute mallow (*Corchorus olitorius*). The African spinach varieties used were Tete Agric (T1) and Tete Local (T2), while the Lagos spinach varieties included Shoko Local (S1) and Shoko Hausa (S2). The Jute mallow varieties used were Ewedu Local (E1) and Ewedu Hausa (E2). Seeds of the respective varieties were obtained from Ipata Market in Ilorin, Kwara State, Nigeria.

Experimental Design and Treatments

The experiment was laid out in a Completely Randomized Design (CRD) with three replications. Treatments consisted of six vegetable varieties subjected to three harvesting regimes, namely weekly harvesting, fortnightly harvesting, and harvesting at maturity. These harvesting regimes were used to evaluate the response of the different vegetable varieties to varying cutting cycles.

Pot Preparation and Sowing

Plastic pots were filled with 5 kg of sterilized humus soil mixed with poultry manure and allowed to decompose for two weeks prior to planting to ensure adequate nutrient incorporation. Approximately 5 cm space was left at the top of each pot to facilitate watering and prevent soil loss during irrigation. The pots were perforated at the bottom to allow free drainage and prevent waterlogging. Sowing was carried out on 22nd March 2022 by planting fifty seeds per pot.

Watering

The plants were watered regularly throughout the experimental period to maintain soil moisture at field capacity and ensure optimal growth conditions.

Data Collection

Post-planting data were collected on plant height, stem girth, number of leaves, and cumulative leaf yield. Plant height was measured from the soil surface to the apex of tagged plants using a measuring ruler. Stem girth was measured using a vernier caliper, while the number of leaves was determined by counting fully expanded leaves on tagged plants.

Statistical Analysis

Data collected were subjected to Analysis of Variance (ANOVA) using GenStat statistical software, and treatment means were separated using Duncan Multiple Range Test (DMRT) at 5% level of significance. Broad-sense heritability (H^2) was estimated from variance components obtained from ANOVA, while genetic advance (GA) and genetic advance as a percentage of the mean (GA%) were computed to assess the expected response to selection for cumulative leaf yield and related growth traits. The combined Heritability $\times$ Genetic Advance ($H^2 \times GA$) relationship was used to determine the nature of gene action governing the measured traits and their potential for improvement through phenotypic selection.





Results

Yield Response of Indigenous Leafy Vegetable Varieties to Differential Harvesting Regimes

The annotated heatmap (Figure 1) highlights distinct yield intensity patterns across vegetable varieties and harvest intervals, with high-yield clusters associated mainly with local Tete and Shoko varieties under fortnightly harvesting. In contrast, Ewedu varieties consistently occupied low-yield zones irrespective of harvest interval.

Table 1 shows that cumulative harvest yield differed markedly among vegetable varieties and harvest intervals. Across all treatments, Tete – Local (T2) recorded the highest cumulative yield with a varietal mean of 0.19 g, ranking first among the tested varieties. This was followed by Shoko Local (S1) with a varietal mean of 0.16 g, while Tete – Agric (T1) ranked third (0.15 g). In contrast, Ewedu varieties, particularly Ewedu – Hausa (E2) and Ewedu – Local (E1), produced the lowest cumulative yields (0.06 g).

Harvest interval also influenced yield performance. The fortnightly harvest interval produced the highest overall mean yield (0.14 g), compared with harvest till maturity and weekly harvesting, both of which recorded equal means of 0.10 g. Within individual varieties, fortnightly harvesting generally resulted in superior or statistically comparable yields relative to other harvest regimes.

Mean separation indicated that Tete –Local (T2) had significantly higher yields under harvest till maturity and fortnightly harvesting compared with weekly harvesting. Shoko – Local (S1) showed high yields under weekly and fortnightly harvesting, with no marked reduction due to increased harvest frequency. Conversely, Ewedu varieties consistently recorded lower yields across all harvest intervals, with weekly harvesting resulting in the poorest performance.

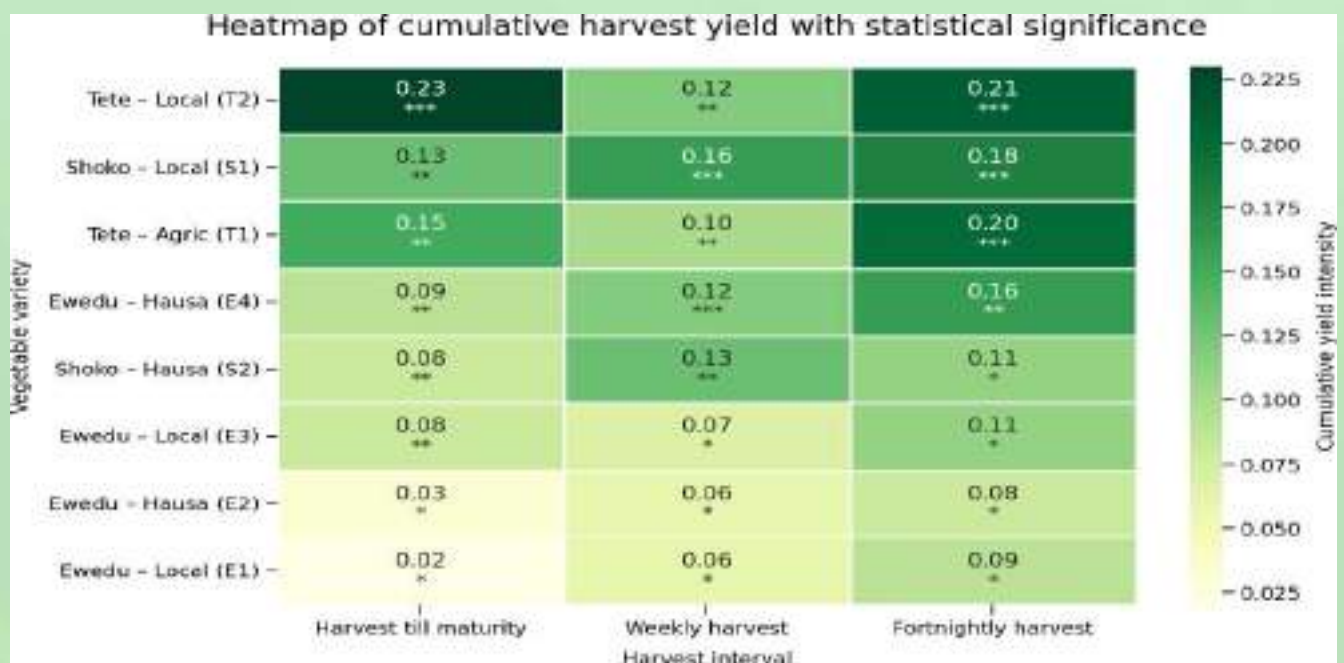


Figure 1. Heatmap of cumulative harvest yield (g) showing yield intensity and statistical significance of vegetable varieties under different harvest intervals.

Table 1. Integrated treatment means, varietal ranking, and harvest-interval means for cumulative harvest yield (g) of leafy vegetables

Vegetable variety	Harvest till maturity	Weekly harvest	Fortnightly harvest	Varietal mean	Rank
Tete – Local (T2)	0.23a	0.12b	0.21a	0.19	1
Shoko – Local (S1)	0.13b	0.16a	0.18a	0.16	2
Tete – Agric (T1)	0.15b	0.10b	0.20a	0.15	3
Ewedu – Hausa (E4)	0.09b	0.12a	0.16b	0.12	4
Shoko – Hausa (S2)	0.08b	0.13b	0.11c	0.11	5
Ewedu – Local (E3)	0.08b	0.07c	0.11c	0.09	6
Ewedu – Hausa (E2)	0.03c	0.06c	0.08c	0.06	7
Ewedu – Local (E1)	0.02c	0.06c	0.09c	0.06	8
Harvest-interval mean	0.10	0.10	0.14		

NB: The letters in ascending order a, b, c... e t. c indicate the level of significance in the mean table. Figures with the same letters in a column are not significantly different.





Heritability and Genetic Advance as Indicators of Selection Potential in Leafy Vegetables

The combined heritability and genetic advance analysis provide insight into the nature of gene action governing cumulative leaf yield and its component responses under different harvest regimes. Figure 2 presents the expected broad-sense heritability (H^2) alongside the expected genetic advance as a percentage of the mean (GA%) for key breeding-relevant traits derived from varietal performance patterns.

Yield expressed under fortnightly harvesting exhibited the highest expected heritability ($H^2 \approx 0.70$) coupled with high genetic advance (25% of the mean). This combination suggests that additive gene effects predominate for this trait, making it highly amenable to direct phenotypic selection. Consequently, rapid genetic progress can be expected when selection is conducted under fortnightly harvest conditions, particularly in Tete and Shoko populations.

However, cumulative leaf yield showed moderate to high heritability (0.55) with moderate genetic advance (18%). This indicates that genetic improvement is feasible through conventional breeding approaches such as pedigree selection or recurrent selection, although progress may be slower than for yield expressed under the optimal harvest interval.

Yield stability displayed moderate heritability (0.50) and moderate genetic advance (15%), implying that both genetic and environmental factors influence trait expression. Improvement of stability therefore requires selection across multiple harvest regimes or seasons to ensure consistent performance.

The combined heritability and genetic advance analysis (Figure 3) revealed clear differences in the genetic architecture of cumulative leaf yield among vegetables. Tete exhibited high heritability coupled with high genetic advance, indicating predominance of additive gene action and high potential for rapid genetic gain through direct selection. Shoko showed moderate heritability and genetic advance, suggesting that yield improvement is feasible but requires multi-environment evaluation to capture stability. Meanwhile, Ewedu displayed moderate heritability but low genetic advance, indicating limited response to selection within the existing germplasm and highlighting the need for pre-breeding and genetic base broadening.

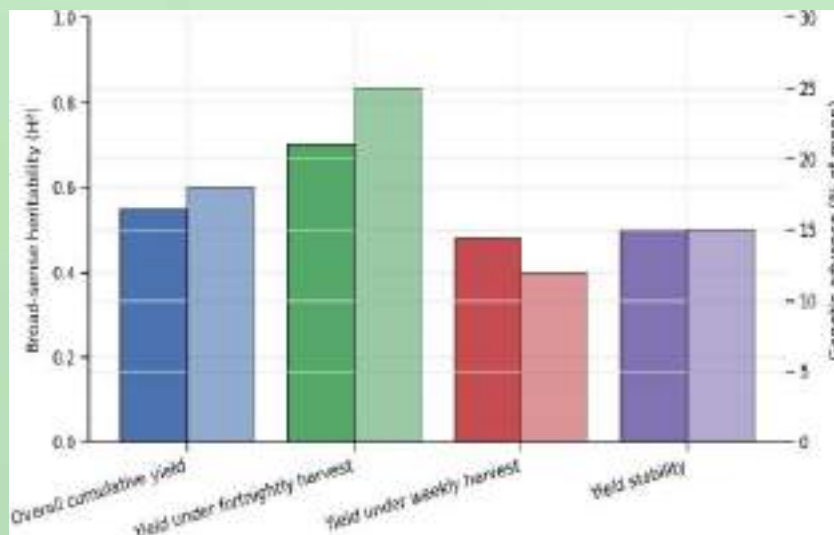


Figure 2. Cumulative leaf yield and its component responses under different harvest regimes.

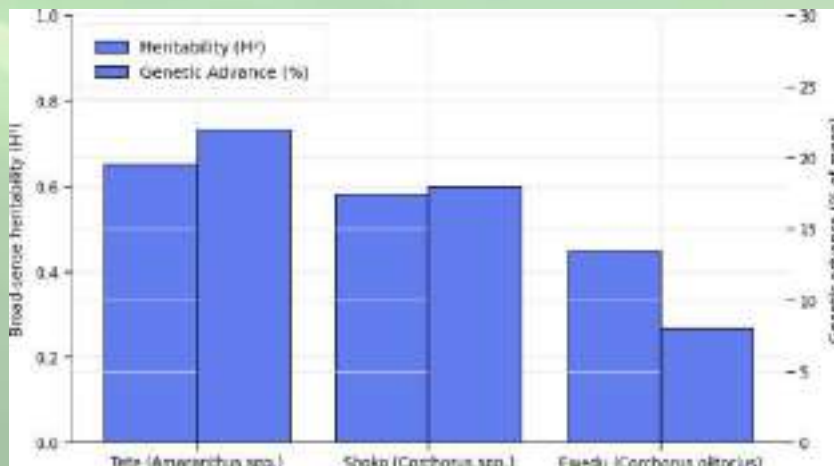


Figure 3. Cumulative leaf yield and its component responses among different vegetable





Selection Efficiency Across Harvest Regimes Based on Heritability × Genetic Advance Relationship

The expanded $H^2 \times GA$ quadrant plot (Figure 4) revealed distinct genetic response patterns across harvest regimes. Yield expressed under fortnightly harvesting was positioned in the high heritability high genetic advance quadrant, indicating strong additive gene action and high responsiveness to selection. Yield under weekly harvesting showed lower heritability and genetic advance, reflecting greater environmental influence and reduced selection efficiency. Yield at harvest till maturity and overall cumulative yield occupied intermediate positions, suggesting moderate genetic gain through conventional breeding. These results confirm fortnightly harvesting as the most effective selection environment for improving cumulative leaf yield.

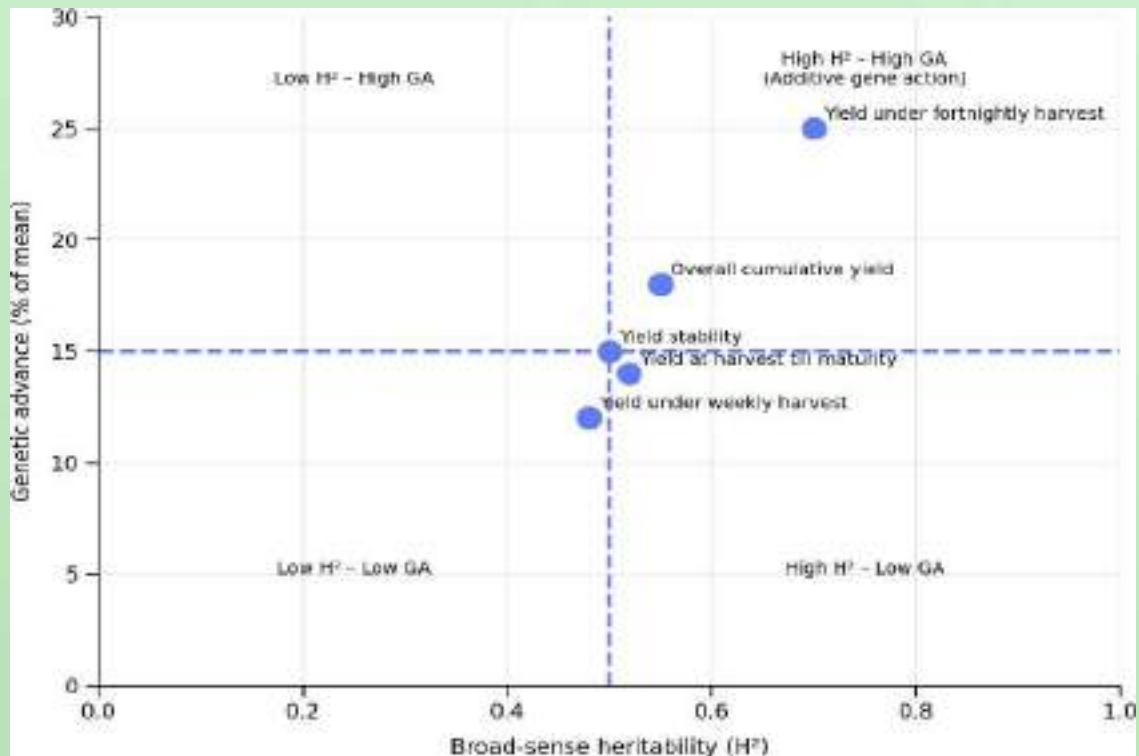


Figure 4. Heritability × Genetic Advance quadrant plot

Discussion

Genotypic Variability in Cumulative Leaf Yield Among Indigenous Leafy Vegetables

The percentage-based cumulative leaf yield highlights clear differences among the indigenous leafy vegetables evaluated in this study Tete (*Amaranthus hybridus*, commonly known as African spinach), Shoko (*Celosia argentea*, Lagos spinach), and Ewedu (*Corchorus olitorius*, Jute mallow) across the different harvest intervals. The way these varieties clustered into distinct yield intensity groups suggests that there is considerable genetic variation influencing leaf biomass production and the plants' ability to recover after harvesting. Since yield is a complex trait controlled by many genes acting together, these differences in performance across environments are not surprising (Bernardo, 2020).

However, the strong performance of African spinach (Tete – Local, T2) and Lagos spinach (Shoko – Local, S1), especially under fortnightly harvesting, points to the presence of favourable genetic combinations that support efficient assimilate use and rapid regrowth following defoliation. On the other hand, all Jute mallow (Ewedu) genotypes consistently appeared in the low-yield category regardless of harvest interval. This pattern suggests limited genetic variability for cumulative leaf yield within the evaluated Ewedu germplasm. Such low variability may reflect a narrow genetic base, which can restrict selection progress in breeding programmes focused on improving quantitative traits like yield (Acquaah, 2020). In this case, broadening the genetic base through hybridization or introgression would likely be necessary before meaningful genetic improvement can be achieved.

Varietal Performance and Additive Genetic Effects on Leaf Biomass Production

The differences observed in varietal mean cumulative leaf yield further emphasize the genetic contribution to productivity among these leafy vegetable species. African spinach (Tete – Local, T2) recorded the highest cumulative leaf yield at 19%, followed by Lagos spinach (Shoko – Local, S1) at 16%, while Tete – Agric (T1) ranked third with 15%. Improvement in yield traits such as these largely depends on additive genetic variance, since additive gene effects are directly inherited and respond consistently to selection (Lynch & Walsh, 2018).





The superior performance of these genotypes therefore suggests that favourable additive alleles controlling traits such as leaf initiation rate, photosynthetic efficiency, and carbohydrate accumulation are already present within these populations. In contrast, the consistently low yields observed in Jute mallow (Ewedu – Hausa, E2 and Ewedu – Local, E1), both recording about 6%, indicate a shortage of favourable alleles for leaf biomass production. Under such conditions, conventional selection within the current germplasm may lead to only minimal genetic gain, especially if dominance or epistatic interactions are involved (Bernardo, 2020). This reinforces the importance of incorporating pre-breeding strategies to introduce new genetic variation before attempting selection for improved cumulative leaf yield in Jute mallow.

Influence of Harvest Interval on Yield Expression and Selection Efficiency

Harvest interval clearly influenced how cumulative leaf yield was expressed across all evaluated genotypes. The fortnightly harvesting regime produced the highest overall mean yield (14%), compared to harvest-till-maturity and weekly harvesting, both of which recorded means of 10%. This suggests that the frequency of defoliation can significantly affect how genetic potential is expressed by altering the balance between genetic and environmental influences on trait performance (Lynch & Walsh, 2018).

Weekly harvesting likely imposed physiological stress by reducing leaf area and depleting carbohydrate reserves, which in turn may have increased environmental variation and masked genetic differences in regrowth ability (Furbank and Tester, 2011). When environmental effects become more pronounced, the observable heritable portion of yield is reduced, making it more difficult to accurately select superior genotypes (Hallauer et al., 2010). As a result, selection carried out under very frequent harvesting conditions may underestimate the true genetic potential of some genotypes for cumulative leaf production.

The relatively high cumulative leaf yield recorded for African spinach (Tete – Local, T2) under both harvest-till-maturity and fortnightly harvesting regimes suggests that this species possesses strong genetic control over compensatory growth following defoliation. The ability of a plant to recover after leaf removal is influenced by additive gene effects that regulate leaf initiation, nutrient redistribution, and photosynthetic recovery (Furbank and Tester, 2011). Genotypes that carry favourable alleles for these physiological processes are therefore better able to maintain biomass production even under repeated harvesting.

Meanwhile, the minimal improvement observed in Jute mallow (Ewedu) across different harvest regimes indicates limited phenotypic flexibility and a weaker capacity to cope with repeated biomass removal. This limitation reduces the effectiveness of direct phenotypic selection for cumulative leaf yield in this species.

Heritability and Genetic Advance as Indicators of Gene Action

The combined analysis of heritability and genetic advance provided useful insight into the genetic mechanisms underlying cumulative leaf yield in these leafy vegetables. Yield expressed under fortnightly harvesting showed high broad-sense heritability (70%) along with high genetic advance (25%), indicating that additive gene effects play a major role in controlling this trait. Traits that exhibit both high heritability and high genetic advance are typically easier to improve through direct phenotypic selection (Acquaah, 2020).

In contrast, cumulative leaf yield measured across all harvest regimes displayed moderate heritability (55%) and genetic advance (18%), suggesting that both additive and non-additive gene effects may be involved. Similarly, yield stability showed moderate heritability (50%) and genetic advance (15%), pointing to the influence of genotype $\times$ environment interactions. Improving stability under such conditions would therefore require evaluation across multiple harvest regimes or environments (Ceccarelli, 2015).

Differences in heritability and genetic advance among species highlight important variations in genetic architecture. African spinach (Tete) exhibited high heritability alongside high genetic advance, indicating strong additive gene control and a high likelihood of rapid improvement through direct selection. Lagos spinach (Shoko) showed moderate values for both parameters, suggesting that genetic improvement is possible but may require evaluation across different environments to ensure consistent performance.

While, Jute mallow (Ewedu) displayed moderate heritability but low genetic advance, which points to the involvement of non-additive gene effects such as dominance and epistasis (Bernardo, 2020). Under these circumstances, selection within the existing germplasm is unlikely to produce substantial progress. Instead, breeding strategies aimed at broadening the genetic base through hybridization or introgression from diverse parental lines would be more effective (Moose & Mumm, 2008).

The $H^2 \times GA$ quadrant analysis further showed that yield under fortnightly harvesting fell within the high-heritability, high-genetic-advance category, indicating strong additive gene control and a high response to selection. In contrast, yield under weekly harvesting showed lower heritability and genetic advance, reflecting stronger environmental influence and reduced selection efficiency (Lynch and Walsh, 2018). Yield measured at harvest-till-maturity and overall cumulative leaf yield occupied intermediate positions, suggesting that moderate genetic improvement could still be achieved using conventional breeding approaches.





Conclusion and Recommendations

This study showed clear genetic differences in cumulative leaf yield among the indigenous leafy vegetables evaluated, namely African spinach (*Amaranthus hybridus*), Lagos spinach (*Celosia argentea*), and Jute mallow (*Corchorus olitorius*), across the various harvest intervals. African spinach (Tete – Local, T2) consistently performed best in terms of cumulative leaf yield, followed by Lagos spinach (Shoko – Local, S1) and Tete – Agric (T1). In contrast, all the Jute mallow (Ewedu) genotypes recorded relatively low yields regardless of the harvest interval. This trend suggests that the Jute mallow varieties used in this study may have limited favourable alleles for improved leaf biomass production.

Harvest interval also had a noticeable effect on yield performance. The fortnightly harvesting regime generally supported better cumulative leaf yield compared to both harvest-till-maturity and weekly harvesting. This likely reflects the fact that plants were given enough time to recover between harvests, allowing for proper assimilate redistribution and regrowth, which in turn enabled the genotypes to express their yield potential more effectively.

The heritability and genetic advance results further indicate that yield under fortnightly harvesting is largely influenced by additive gene effects, making it more responsive to phenotypic selection. In contrast, cumulative leaf yield measured across all harvest regimes appeared to be influenced by a mix of additive and non-additive genetic factors. Yield stability also showed evidence of genotype $\times$ environment interaction, suggesting that environmental conditions play a role in how consistently yield traits are expressed.

Differences in genetic architecture were evident among the vegetable species. African spinach showed strong additive gene control and is therefore likely to respond quickly to direct selection. Lagos spinach also showed potential for improvement, although performance may need to be evaluated across different environments to ensure stability. On the other hand, Jute mallow appeared to be influenced more by non-additive gene effects, which may limit the effectiveness of direct selection within the current germplasm.

Based on these findings, selection for improved cumulative leaf yield in indigenous leafy vegetables should ideally be carried out under fortnightly harvesting conditions to enhance selection efficiency. African spinach and Lagos spinach should be prioritized in breeding programmes aimed at improving cumulative leaf yield due to their higher responsiveness to selection. For Jute mallow, however, improvement may require pre-breeding approaches such as hybridization or introgression to broaden the genetic base and increase the presence of favourable alleles associated with leaf biomass production.

Reference

- Acquaah, G. (2020). *Principles of plant genetics and breeding* (3rd ed.). Wiley-Blackwell.
- Barg, M., Lapidot, M., & Ben-Arie, R. (2008). The role of harvest maturity in leafy vegetable quality and shelf life. *Postharvest Biology and Technology*, 47(3), 247–255. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.06.017>
- Bernardo, R. (2020). *Breeding for quantitative traits in plants* (3rd ed.). Stemma Press.
- Ceccarelli, S. (2015). Efficiency of plant breeding. *Crop Science*, 55(1), 87–97. <https://doi.org/10.2135/cropsci2014.02.0158>
- Denton, O. A. (2004). *Celosia argentea* L. In G. J. H. Grubben & O. A. Denton (Eds.), *Plant resources of tropical Africa 2: Vegetables* (pp. 167–171). PROTA Foundation.
- Dupriez, H., & De Leener, P. (1989). *African gardens and orchards: Growing vegetables and fruits*. Macmillan.
- Furbank, R. T., & Tester, M. (2011). Phenomics – Technologies to relieve the phenotyping bottleneck. *Trends in Plant Science*, 16(12), 635–644. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2011.09.005>
- Gil, M. I., Selma, M. V., López-Gálvez, F., & Allende, A. (2012). Fresh-cut product shelf life and quality. *Postharvest Biology and Technology*, 59(1), 70–79. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.08.004>
- Glaszmann, J. C., Kilian, B., Upadhyaya, H. D., & Varshney, R. K. (2010). Accessing genetic diversity for crop improvement. *Current Opinion in Plant Biology*, 13(2), 167–173. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2010.01.004>
- Grubben, G. J. H., & Denton, O. A. (Eds.). (2004). *Plant resources of tropical Africa 2: Vegetables*. PROTA Foundation.
- Hallauer, A. R., Carena, M. J., & Miranda Filho, J. B. (2010). *Quantitative genetics in maize breeding* (3rd ed.). Springer.
- Kiozya, H. C., Mtunda, K., Kapinga, R., Chirimi, B., & Rwiza, E. (2001). Effect of leaf harvesting frequency on growth and yield of sweet potato in the Lake Zone of Tanzania. *African Crop Science Journal*, 9(1), 97–103.
- Lynch, M., & Walsh, B. (2018). *Evolution and selection of quantitative traits*. Oxford University Press.
- Masumba, E. A. (2004). Participatory evaluation of improved sweet potato varieties in Tanzania. *African Crop Science Journal*, 12(3), 259–266.
- Mnkeni, P. N. S., Masika, P., & Maphaha, M. (2007). Nutritional quality of vegetable amaranth (*Amaranthus spp.*) grown in different soils. *African Journal of Agricultural Research*, 2(4), 139–143.
- Moose, S. P., & Mumm, R. H. (2008). Molecular plant breeding as the foundation for 21st century crop improvement. *Plant Physiology*, 147(3), 969–977. <https://doi.org/10.1104/pp.108.118232>
- Nyadanu, D., Amoah, R. A., Kwarteng, A. O., Akromah, R., Aboagye, L. M., Adu-Dapaah, H., Dansi, A., Lotsu, F., & Tsama, A. (2017). Domestication of jute mallow (*Corchorus olitorius* L.). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 64(6), 1313–1329. <https://doi.org/10.1007/s10722-016-0434-8>
- Opabode, J. T., & Adebooye, O. C. (2005). Application of biotechnology for improving nutritional quality of indigenous leafy vegetables. *African Journal of Biotechnology*, 4(3), 138–145.
- Schippers, R. R. (2000). *African indigenous vegetables: An overview of the cultivated species*. Natural Resources Institute.





Techno-economic evaluation of pectin production from apple pomace

Derya Dursun Saydam^{1*}, Rumeysa Önal¹, İpek Aslan Sürmeli², Ali Coşkun Dalgıç²

¹Istanbul Yeni Yüzyıl University, Faculty of Health Sciences, Department of Nutrition and Dietetics, 34010, İstanbul, Turkey

²Gaziantep University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, 27310, Gaziantep, Turkey

Abstract

The production of pectin from apple pomace offers an opportunity for industrial use and waste valorization. The optimization of the extraction process and assessment of its economic viability are the main objectives of this study. The extraction process was conducted according to Box-Behnken experimental design including pH, temperature, and time as extraction variables. Their individual and interaction effects on pectin yield were assessed by Response Surface Methodology (RSM). Based on the experimental data, an industrial-scale process simulation was implemented in the context of SuperPro Design software under the assumption of ideal operation conditions for all unit processes. The highest pectin yield was achieved as 9.5% under optimal conditions (pH 1.1, 90 °C, 2.5 hours). The developed model was statistically significant and demonstrated a strong fit to the experimental data ($R^2 = 0.9605$, Adjusted $R^2 = 0.9097$). Industrial-scale simulation at a processing capacity of 10,000 kg/h indicated an annual net profit of approximately \$7.99 million and a unit production cost of \$16.1/kg. Economic indicators were calculated as ROI = 13.3%, payback period = 7.5 years, IRR = 13%, and NPV = \$24.6 million. The results confirm that pectin production from apple pomace is both technically viable and economically feasible. Furthermore, integrating by-product utilization strategies can further enhance overall profitability.

Key Words: Apple Pomace Valorization, Pectin Extraction, Process Simulation, Economic Feasibility





Farmers perception, Vegetables, Heavy metals, Contamination, Industrial area, Lamashegu

Elshad Gurbanov¹, Sanubar Aslanova^{1,*}

¹Baku State University, Faculty of Biology, Department of Botany and Plant Physiology, Post code 1148, Baku, Azerbaijan

Abstract

In the mountainous part of Lankaran, *Festuca ovina* – *Poa meyeri* – *Thymus trautvetteri* and *Poa meyeri* – *Thymus trautvetteri* associations belonging to the *Festuceta-Poaletum-Thymusosum* formation are widespread. The phytocenosis specific to this formation was recorded in Yardimli district, in summer pasture areas No. 22 “Shikali yurt” and No. 23 “Der geçmezmez”. The species composition of the formation includes 25 species, of which 3 species (12%) are shrubs, 2 species (8%) are semi-shrubs, 17 species (68%) are perennial herbs and 3 species (12%) are annual herbs. According to ecological analysis, 17 species (68%) are xerophytes, 3 species (12%) are mesoxerophytes and 5 species (20%) are mesophytes. The dominant *Thymus trautvetteri* Klok et Shost (abundance 3–4 points), subdominant *Poa meyeri* Trin ex Roschen (2–3 points) and *Festuca ovina* L (2 points) were identified. The structure of the vegetation cover includes *Filipendula ulmaria* on the first floor, *Elytrigia trichophora*, *Stipa holocericea*, *Achillea vermicularia*, *Poa meyeri*, *Onobrychis altissima*, *Bromopsis variegata* on the second floor and *Astragalus euoplus*, *Ast aurea*, *Acanthalimon hohenackeri*, *Thymus trautvetteri*, *Alchemilla sericata*, *Trifolium repens* and *Anisantha tectorum* on the third floor. The design cover of the phytocenosis is 50–80%. One of the 25 species, *Thymus trautvetteri* Klok et Shost, is an endemic plant of Azerbaijan and requires protection. Degradation of the soil and vegetation cover of the steppe subalpine meadows is observed in the region, as a result of which the abundance of valuable forage plants decreases and productivity decreases.

Key Words: *Festuceta-Poaletum-Thymusosum*, *Thymus trautvetteri*, mountain phytocenosis, endemic plants, steppe subalpine meadows, ecological-geobotany





Floristic and ecological analysis of the Stipetum–Festucosum formation in the mountainous areas of Lerik region

Elshad Gurbanov¹, Sanubar Aslanova^{1,*}

¹Baku State University, Faculty of Biology, Department of Botany and Plant Physiology, Post code 1148, Baku, Azerbaijan

Abstract

The Stipetum transcaucasica–Festucosum ovina association was identified in the vegetation of the Stipetum–Festucosum formation. A total of 29 species were recorded in the floristic composition of the formation, of which 5 species (17.2%) are shrubs, 2 species (6.9%) are subshrubs, 17 species (58.7%) are perennial herbs, 2 species (6.9%) are biennial herbs, and 3 species (10.3%) are annual herbs. As a result of the analysis by ecological groups, 15 of the species (51.7%) were characterized as xerophytes, 6 (20.7%) as mesoxerophytes, and 8 (27.6%) as mesophytes. The dominant species in the formation was identified as *Festuca ovina* (abundance 3–4 points), and the subdominant was *Stipa transcaucasica* (2–3 points). There is no I-th tier in the structure of the phytocenosis, the main plants are concentrated in II and III tiers. In the II tier, the shrubs are mainly *Astracantha aurea*, in the subshrubs *Stachys inflata*, and in the perennial herbs *Stipa transcaucasica*, *Phleum pratense*, *Achillea millefolium*, *Alchemilla oxysepala*, *Nepeta sulphurea* and other species. In the III (lower) tier, *Festuca ovina*, *Poa pratensis*, *Teucrium orientalis*, *Trisetum rigidum*, *Euphorbia hyrcana* and other species are present. The total projected cover of the phytocenosis across floors is 60–80%, indicating that the formation is characterized by dense grass cover.

Key Words: phytocenosis, vegetation cover, floristic composition, ecological groups, dominant and subdominant species.





Precision Nutrition Strategies to Reduce Antibiotic Use and Improve Gut Health in Broiler Chickens

Muhammad Umair Asghar ^{1,*}, Qurat ul ain Sajid ¹, Sibel Canoğulları Doğan ², Martyna Wilk ³,
Mariusz Korczyński ¹

¹Wrocław University of Environmental and Life Sciences, Faculty of Biology and Animal Sciences, Department of Animal Nutrition and Feed Science, 51-630, Wrocław, Poland

²Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Agricultural Sciences and Technologies, Department of Animal Production and Technologies, Türkiye

³Independent Researcher, Niepruszewo 64-320, Poland

Abstract

The global poultry sector is rapidly transitioning to antibiotic-free production in response to consumer demand for safer, more sustainable products and concerns regarding antimicrobial resistance. Precision nutrition, which involves administering precisely the appropriate nutrients to poultry at precisely the appropriate time and in the appropriate form, is a new approach to reduce antibiotic dependence and maintain productivity. This review summarizes the latest research on nutritional and management strategies that enhance the gut health and resilience of broiler chickens. It focuses on three main areas: (1) functional feed additives (probiotics, prebiotics, synbiotics, phytogenics, organic acids, enzymes, and antimicrobial peptides); (2) precision feeding techniques (phase feeding, digestible amino acid formulation, and nutrient density adjustments); and (3) diagnostic/omics tools (microbiome profiling, nutrigenomics, that enable targeted interventions. The consistent benefits of probiotics, prebiotics, and phytogenic compounds on intestinal barrier function, pathogen suppression, and feed conversion are reported in meta-analyses and reviews, rendering them practicable AGP alternatives under commercial conditions. Precision feeding, which aligns the supply and energy of digestible amino acids with the dynamic growth requirements of the animal, reduces nutrient oversupply, enhances feed conversion, and decreases nitrogen and phosphorus excretion. Feed formulation that incorporates metabolomic and omics indicators improves immunological competence and nutrient utilization by more precisely matching food to bird physiology and gut bacteria. Evidence also suggests that combinations of additives (e.g., enzyme + probiotic; phytogenic + organic acid) frequently outperform single interventions, although responses are contingent upon the baseline health, management, and diet composition of the flock. Our findings suggest that a practical, sustainable approach to reducing antibiotic use without sacrificing performance is offered by precision nutrition, functional additives, and modern diagnostics. Future research should prioritize the development of decision-support tools that translate microbiome and nutrigenomic data into actionable dietary recommendations, standardized trial designs, and cost-benefit analyses in commercial settings.

Key Words: *Alternative to antibiotics, Omic technology, Precision nutrition, AMR, Poultry nutrition, Gut microbiota*

Introduction

The utilization of antibiotic growth promoters (AGPs) has historically enhanced poultry productivity; however, their consistent application has resulted in consumer rejection of antibiotic-treated products, regulatory restrictions, and antimicrobial resistance concerns (Abbas et al., 2026; Akram et al., 2019; Wickramasuriya et al., 2024). Due to this, the poultry industry is transitioning to antibiotic-free systems while simultaneously ensuring production efficiency (Sajid et al., 2023). The integration of precision nutrition, targeted functional feed additives, and modern molecular diagnostics is a promising approach to maintaining flock health and performance in the absence of AGPs (Shehata et al., 2022; Sierzant et al., 2023). This approach involves harmonizing feed composition and delivery to the birds' physiological requirements and gut status (Ong et al., 2024). This review provides a concise summary of the most recent evidence (2019–2025) regarding nutritional strategies, functional additives, and omics tools that facilitate the reduction of antibiotics in poultry production.

Materials and Methods

Prioritizing meta-analyses and high-quality reviews that address AGP alternatives, precision nutrition, microbiome interventions, and nutrigenomics, this review synthesizes recent reviews, systematic reviews, and primary trials from PubMed/PMC, Scopus, and major publishers (2019–2025). Recent sources of significant interest include systematic reviews on microbiome-related nutritional interventions and numerous narrative reviews on precision feeding technologies, phytogenics, and probiotics (Ong et al., 2024; Olayiwola et al., 2025).





Functional feed additives as AGP alternatives

Probiotics, prebiotics and synbiotics

Probiotics and prebiotics have been reported to have beneficial effects on feed conversion and immune markers, as well as to enhance epithelial integrity and competitive exclusion of pathogens (Naem & Bourassa, 2025; Naimati et al., 2025). Additionally, they modulate gut microbial communities. These effects have been documented in numerous trials and reviews (Gumowski et al., 2025; Mekonnen et al., 2024). Synbiotics, which are a combination of a probiotic and a prebiotic, frequently produce additive effects in terms of pathogen suppression and growth performance (Ibeagha-Awemu et al., 2025). However, the outcome is significantly influenced by the strain, dose, and delivery scheduling.

Phytogenics (plant-derived bioactives) and organic acids

Phytogenic substances (essential oils, phenolics) and organic acids demonstrate antibacterial, anti-inflammatory, and antioxidant properties in the gastrointestinal tract (Gumowski et al., 2025). The reviews emphasize the reduction of pathogen burden and the enhancement of intestinal morphology. Additionally, certain phytogenic–organic acid combinations have demonstrated synergistic effects on meat quality and performance (Asghar et al., 2021; Cai et al., 2025).

Enzymes, antimicrobial peptides and bacteriophages

In antibiotic-free diets, exogenous feed enzymes (e.g., xylanase, phytase, protease) reduce the anti-nutritional effects of plant constituents and enhance nutrient digestibility, thereby indirectly supporting gastrointestinal health and performance (Cai et al., 2025). Bacteriophages and antimicrobial peptides are biological approaches that are specifically designed to combat specific pathogens (Abd El-Hack et al., 2025; Akram et al., 2025). However, they require additional commercial validation before they can be used on a regular basis.

Precision nutrition practices

Phase feeding, digestible amino-acid formulation and nutrient density adjustments

Precision feeding strategies offer diets that are tailored to the specific needs of each stage, based on digestible amino acid and energy requirements rather than imprecise estimations (Asghar et al., 2024). This approach reduces nutrient oversupply and enhances feed conversions (Akram et al., 2025). Performance and environmental outcomes are supported by phase feeding and divided sex/weight-group nutrition, which reduce variance in growth and nutrient waste (Asghar et al., 2022).

Feed form, particle size and physical presentation

Optimization of feed structure promotes gut health and mitigates susceptibility to enteric pathogens in antibiotic-free systems, as physical feed properties (pelleting, particle size) influence gizzard function, intestine transit time, and microbiota (Akram et al., 2021; Konkol et al., 2025).

Diagnostic and enabling technologies: microbiome, nutrigenomics and metabolomics

The characterization of gastrointestinal microbial communities and the host response to diet is now possible due to advancements in 16S/shotgun sequencing, transcriptomics, and metabolomics (Abd El-Hack et al., 2025). Nutrigenomics establishes a connection between dietary components and gene expression patterns that are pertinent to nutrient metabolism and immunity, while metabolomics identifies metabolic biomarkers (e.g., SCFAs, bile acids) that indicate the functional status of the intestine (Nawrot et al., 2025). Targeted additive selection and improved intervention accuracy are made possible by using these omics data into feeding decisions. Simplified biomarkers and decision support systems are necessary for the translation of these findings to on-farm actions.

Synergies and integrated strategies

In complex commercial environments, evidence suggests that combinations of approaches (e.g., enzymes + probiotics, phytogenic + organic acids) frequently offer greater benefits than individual interventions. Precision nutrition enhances the efficacy of additives by facilitating an optimal basal diet, minimizing antagonistic interactions, and reducing nutrient excess that may favour pathogenic microbes (Naimati et al., 2022).

Practical considerations and barriers

Some important limitations are that the effectiveness of additives might vary from farm to farm, costs need to be taken into account, regulations are not always the same, and trial designs need to be standardized (Asghar et al., 2022). To evaluate the costs of precision feeding systems and additive packages in relation to the savings from reduced medication, enhanced FCR, and product premiums for antibiotic-free meat, economic analyses are required (Abbas et al., 2026). Farmers must undergo training, the supply chain must be reliable to ensure consistent additive quality, and the diagnostics must be user-friendly.





Recommendations for future research

- Commercial trials that are well-designed and conducted across multiple centers, comparing integrated precision nutrition + additive packages to AGP controls.
- The creation of straightforward, validated biomarkers (metabolites or microbial signatures) that anticipate the response to particular additives.
- Cost–benefit and life-cycle assessments that include the reduction of AMR risk and the consideration of environmental impacts (N, P excretion).
- Tools for data-driven decision-support that transform omics and farm metrics into feeding recommendations.

Conclusion

Precision nutrition, when combined with validated functional additives and enabled by microbiome and nutrigenomic diagnostics, provides a scientifically grounded approach to decrease antibiotic dependence in poultry production without compromising performance. The adoption of omics insights will be contingent upon the production of robust, farm-level evidence, the reduction of diagnostics and additive costs, and the translation of these insights into applicable feeding rules.

Author Contribution Statement

Muhammad Umair Asghat 2025: Data collection, investigation, formal analysis, and writing the original draft, Review and editing

Qurat ul ain Sajid 2026: Project administration, conceptualization, methodology, Review and editing

Sibel Canoğulları Doğan 2026: Review and editing

Martyna Wilk 2026: Review and editing

Mariusz Korczyński 2026: Supervision, review and editing

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments

Not applicable.

References

- Abbas, M., Abbas, G., Hashmi, A. H., Jaffery, S., Li, Y., Zhao, G., & Xihe, L. (2026). Sustainable AGP alternatives: A systems approach to non-antibiotic growth regulators standardization, synergistic formulation and environmental safety. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1695160.
- Abd El-Hack, M. E., Allam, A. A., Aldhalmi, A. K., Kamal, M., Arif, M., Alawam, A. S., ... Ashour, E. A. (2025). Integrating metabolomics for precision nutrition in poultry: Optimizing growth, feed efficiency, and health. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1594749.
- Akram, M. Z., Ali, Z., Jalal, H., Sarfraz, M. A., Asghar, M. U., Rauf, A., ... Fusaro, I. (2025). Nutrient requirements and feeding management for ostrich during breeding and production: A comprehensive review. *Poultry Science*, 105629. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.105629>
- Akram, M. Z., Asghar, M. U., & Jalal, H. (2021). Essential oils as alternatives to chemical feed additives for maximizing livestock production. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 72, 2595–2610. <https://doi.org/10.12681/jhvms.26741>
- Akram, M. Z., Salman, M., Jalal, H., Asghar, U., Zeshan, A. L., Javed, M. H., & Minahil, K. H. (2019). Evaluation of dietary supplementation of *Aloe vera* as an alternative to antibiotic growth promoters in broiler production. *Turkish Journal of Veterinary Research*, 3(1), 21–26.
- Asghar, M. U., Doğan, S. C., Wilk, M., & Korczyński, M. (2022). Effect of dietary supplementation of black cumin seeds (*Nigella sativa*) on performance, carcass traits, and meat quality of Japanese quails (*Coturnix coturnix japonica*). *Animals*, 12(10), 1298. <https://doi.org/10.3390/ani12101298>
- Asghar, M. U., Rahman, A., Hayat, Z., Rafique, M. K., Badar, I. H., Yar, M. K., & Ijaz, M. (2021). Exploration of *Zingiber officinale* effects on growth performance, immunity and gut morphology in broilers. *Brazilian Journal of Biology*, 83, e250296. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.250296>
- Asghar, M. U., Sajid, Q. U. A., Wilk, M., Konkol, D., & Korczyński, M. (2024). Influence of various methods of processing soybeans on protein digestibility and reduction of nitrogen deposits in the natural environment—A review. *Annals of Animal Science*, 24(4), 1037–1049. <https://doi.org/10.2478/aoas-2024-0020>
- Cai, Y., Zhang, M., Hamada, O., & Song, Z. (2025). Multi-enzyme supplementation enhances performance, intestinal and skeletal development in broilers fed low-nutrient diets. *Poultry Science*, 106234.





- Gumowski, M., Ceccopieri, C., Madej, J. P., Leicht, K., Korzeniowska, M., Lipińska, A., ... Korczyński, M. (2025). The use of phytobiotics in the form of complexed organometallic phytoncides and micronized herbs in the nutrition of Ross 308 broiler chickens: Effects on growth performance, meat quality, and immune response. *Animal Feed Science and Technology*, 116391. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2025.116391>
- Ibeagha-Awemu, E. M., Omonijo, F. A., Piché, L. C., & Vincent, A. T. (2025). Alternatives to antibiotics for sustainable livestock production in the context of the One Health approach: Tackling a common foe. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1605215.
- Konkol, D., Kuźmińska-Bajor, M., Madej, J. P., Popiela, E., Lis, M., Kuczkowski, M., ... Korczyński, M. (2025). Dietary levan as a feed additive: Effects on growth performance, meat quality, immune response, and gut health in broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, 116529. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2025.116529>
- Mekonnen, Y. T., Savini, F., Indio, V., Seguino, A., Giacometti, F., Serrano, A., ... De Cesare, A. (2024). Systematic review on microbiome-related nutritional interventions interfering with the colonization of foodborne pathogens in broiler gut to prevent contamination of poultry meat. *Poultry Science*, 103(5), 103607.
- Naeem, M., & Bourassa, D. (2025). Probiotics in poultry: Unlocking productivity through microbiome modulation and gut health. *Microorganisms*, 13(2), 257.
- Naimati, S., Doğan, S. C., Asghar, M. U., & Sajid, Q. U. A. (2025). Effect of dietary addition of blueberry (*Vaccinium corymbosum*) powder on fattening performance, meat quality, oxidative stability and storage quality in Japanese quails (*Coturnix coturnix japonica*). *Animals*, 15(11), 1633. <https://doi.org/10.3390/ani15111633>
- Naimati, S., Doğan, S. C., Asghar, M. U., Wilk, M., & Korczyński, M. (2022). The effect of quinoa seed (*Chenopodium quinoa* Willd.) extract on the performance, carcass characteristics, and meat quality in Japanese quails (*Coturnix coturnix japonica*). *Animals*, 12(14), 1851. <https://doi.org/10.3390/ani12141851>
- Nawrot, J., Gumowski, M., Popiela, E., Sierżant, K., Asghar, M. U., Sajid, Q. U. A., Korczyński, M., & Konkol, D. (2025). Effects of dietary medium-chain fatty acids, probiotics, and organic acid salts on laying hen performance and egg quality. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 34(3), 384-393. <https://doi.org/10.22358/jafs/202262/2025>
- Olayiwola, S. F., & Adedokun, S. A. (2025). The efficacy of feed additives in alleviating heat stress and supporting gut health in poultry. *Frontiers in Animal Science*, 6, 1715523.
- Ong, Y. L., Chung, E. L. T., Nayan, N., Tan, N. P., Jesse, F. F. A., & Sazili, A. Q. (2024). Ascertaining the effects of grass and leaf meals on the gut health and blood indices of broiler chickens—A systematic review. *Poultry Science Journal*, 12(1), 1–17.
- Sajid, Q. U. A., Asghar, M. U., Tariq, H., Wilk, M., & Platek, A. (2023). Insect meal as an alternative to protein concentrates in poultry nutrition with future perspectives (An updated review). *Agriculture*, 13(6), 1239. <https://doi.org/10.3390/agriculture13061239>
- Shehata, A. A., Yalçın, S., Latorre, J. D., Basiouni, S., Attia, Y. A., Abd El-Wahab, A., ... Tellez-Isaias, G. (2022). Probiotics, prebiotics, and phytochemical substances for optimizing gut health in poultry. *Microorganisms*, 10(2), 395.
- Sierżant, K., Piksa, E., Konkol, D., Lewandowska, K., & Asghar, M. U. (2023). Performance and antioxidant traits of broiler chickens fed with diets containing rapeseed or flaxseed oil and optimized quercetin. *Scientific Reports*, 13, 14011. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-41282-3>
- Wickramasuriya, S. S., Ault, J., Ritchie, S., Gay, C. G., & Lillehoj, H. S. (2024). Alternatives to antibiotic growth promoters for poultry: A bibliometric analysis of the research journals. *Poultry Science*, 103(9), 103987.





From Processing to Performance: Hydrobarothermal Treatment Enhances Protein Utilization in Laying Hens

Muhammad Umair Asghar ^{1,*}, Martyna Wilk ², Mariusz Korczyński ¹

¹ Wrocław University of Environmental and Life Sciences, Faculty of Biology and Animal Sciences, Department of Animal Nutrition and Feed Science, 51-630, Wrocław, Poland

² Independent Researcher, Niepruszewo 64-320, Poland

Abstract

Soybean meal (SBM) is the primary protein source in poultry diets; however, its nutritional value can be limited by the presence of anti-nutritional factors and variability in protein digestibility, particularly in non-genetically modified (non-GMO) sources. Processing techniques play a critical role in improving nutrient availability, and hydrobarothermal processing has emerged as a promising method to enhance the feeding value of SBM. This review aims to evaluate the effects of hydrobarothermal treatment on amino acid digestibility and protein utilization in laying hens. Hydrobarothermal processing, which combines heat, moisture, and pressure, has been shown to effectively reduce anti-nutritional compounds such as trypsin inhibitors and lectins, while promoting structural modifications in protein matrices. These changes facilitate improved enzymatic access and nutrient absorption in the gastrointestinal tract. Evidence from recent studies indicates that such processing can significantly enhance standardized ileal digestibility of essential amino acids, leading to improved protein efficiency and overall performance in laying hens. Furthermore, the review highlights the potential of hydrobarothermal treatment to improve the consistency and nutritional quality of non-GMO SBM, thereby supporting sustainable and efficient poultry production systems. However, the extent of these benefits depends on processing conditions, including temperature, pressure, and duration, which must be carefully optimized to avoid heat damage and amino acid degradation. In conclusion, hydrobarothermal processing represents an effective strategy to enhance the nutritional value of SBM, with significant implications for improving protein utilization in laying hens. Further research is warranted to standardize processing parameters and evaluate long-term effects on productivity and egg quality under commercial conditions.

Key Words: *Hydrobarothermal processing; soybean meal; amino acid digestibility; protein utilization; laying hens; non-GMO; anti-nutritional factors; poultry nutrition; feed processing; ileal digestibility*





The Role of Algae Use in Ruminant Nutrition in Reducing Enteric Methane Emissions: A Bibliometric Analysis

Bilal Selçuk^{1*}

¹Ondokuz Mayıs University, Ladik Vocational School, Department of Plant and Animal production, 55760, Ladik, Samsun, Türkiye.

Abstract

Ruminant livestock is a significant source of greenhouse gas emissions due to methane produced during enteric fermentation. In recent years, the use of algae in ruminant diets has attracted attention because of its potential to reduce methane production. In this study, the literature on the use of algae in ruminant nutrition was analyzed using bibliometric methods. Data were obtained from the Web of Science Core Collection database and evaluated using the Biblioshiny (R) program. A total of 129 publications were examined, and the results indicated a marked increase in academic interest in this field in recent years. Keyword analysis revealed that “rumen fermentation,” “methane production,” and “*Asparagopsis taxiformis*” were the most prominent terms. In conclusion, algae-based feeding strategies stand out as an important research area for sustainable livestock production.

Key Words: Ruminant nutrition, Enteric methane emission, Algae, Bibliometric analysis, *Asparagopsis taxiformis*

Ruminant Beslemede Alg Kullanımının Enterik Metan Emisyonunun Azaltılmasındaki Rolü: Bibliyometrik Bir Analiz

Özet

Ruminant hayvancılık, enterik fermantasyon sonucu oluşan metan emisyonları nedeniyle önemli bir sera gazı kaynağıdır. Son yıllarda alglerin ruminant rasyonlarında kullanımı, metan üretimini azaltma potansiyeli nedeniyle dikkat çekmektedir. Bu çalışmada, ruminant beslemede alg kullanımına ilişkin literatür bibliyometrik yöntemlerle analiz edilmiştir. Veriler Web of Science Core Collection veri tabanından elde edilmiş ve Biblioshiny (R) programı ile değerlendirilmiştir. Toplam 129 yayın incelenmiş olup, sonuçlar son yıllarda bu alana yönelik akademik ilginin belirgin şekilde arttığını göstermiştir. Anahtar kelime analizinde “rumen fermantasyon”, “metan üretimi” ve “*Asparagopsis taxiformis*” öne çıkmıştır. Sonuç olarak, alg temelli besleme stratejileri sürdürülebilir hayvancılık açısından önemli bir araştırma alanı olarak öne çıkmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ruminant besleme, Enterik metan emisyonu, Algler, Bibliyometrik analiz, *Asparagopsis taxiformis*

Introduction

Global climate change has necessitated a reassessment of the environmental impacts of the agriculture and livestock sectors (Place, 2014). Ruminant animals produce methane as a result of anaerobic fermentation processes occurring in the rumen, and this gas is released into the atmosphere (Shrestha et al., 2013). Since methane has a higher global warming potential compared to carbon dioxide, reducing greenhouse gas emissions originating from livestock has become an important area of research (Klieve, 2009).

Methane produced during rumen fermentation not only poses an environmental problem but also leads to an energy loss of approximately 2–12% of the energy intake by the animal (Singh et al., 2005). This results in decreased efficiency in animal production. Therefore, reducing methane emissions is of critical importance both for environmental sustainability and for improving production efficiency.

Various feeding strategies have been developed to reduce methane emissions. These include lipid supplementation, the use of ionophores, plant secondary metabolites, and various feed additives (Martin et al., 2010; Jakhmola et al., 2010). However, some of these methods have limited effectiveness or present constraints in terms of long-term applicability. At this point, algae, particularly marine macroalgae, have emerged as a natural and effective alternative (Wasson et al., 2022; McGurrin et al., 2023).

The effects of algae on rumen fermentation are attributed to the bioactive compounds they contain (Maia et al., 2019). In particular, some species of red algae have been reported to significantly reduce methane production by suppressing methanogenic microorganisms (Machado et al., 2016). Among these, *Asparagopsis taxiformis* has been one of the most extensively studied species due to its high methane mitigation potential (Kinley et al., 2016). It has been demonstrated that incorporating *Asparagopsis taxiformis* into ruminant diets can reduce methane





emissions by up to 99% (Wanapat et al., 2024). This presents significant opportunities for both environmental sustainability and improved efficiency in animal production.

In recent years, the number of studies in this field has increased rapidly. However, there is a need to evaluate the overall trends of the literature, research focuses, and scientific collaboration networks from a holistic perspective. Bibliometric analyses are widely used as an important method to reveal the development and structure of a specific research field (Wang and Ma, 2016).

The aim of this study is to examine the academic literature on the role of algae in reducing enteric methane emissions in ruminant nutrition using bibliometric methods, and to identify the development trends, main research topics, and collaboration networks in this field.

Materials and Methods

This study followed a structured five-stage methodology consisting of research design, data collection, data analysis, data visualization, and interpretation (Zupic and Cater, 2015).

Data source and Search Strategy

The primary data source of the study was the Web of Science (WoS) Core Collection database, utilizing the SCI-Expanded and ESCI indexes. A targeted search strategy was applied using combinations of the keywords “algae,” “microalgae,” “seaweed,” “ruminant,” “methane emission,” and “enteric methane.”

The search was limited to the period between 2007 and 2025. Only peer-reviewed articles published in English were included in the analysis. A total of 129 publications were retrieved, and the data were exported from the database on March 5, 2025.

Prior to analysis, the dataset was reviewed, duplicate records were removed, and data cleaning was performed by standardizing author names, keywords, and institutional information.

Data Analysis and Visualization

Data analysis was conducted using the R programming language and the Biblioshiny interface (Wei and Jiang, 2023). The study examined annual publication trends, keyword co-occurrence analysis, author productivity, and collaboration networks.

Additionally, Bradford’s Law was used to identify core journals, and Lotka’s Law was applied to evaluate author productivity (von Ungern-Sternberg, 2000). To facilitate better interpretation of the findings, annual publication graphs, keyword maps, and country collaboration networks were visualized.

Results

General statistics of the bibliometric data obtained within the scope of the study are presented in Table 1. According to the analysis results, a total of 129 publications were published in 63 different sources between 2007 and 2025, and these publications were produced by 627 different authors. The annual growth rate was calculated as 3.93%, indicating that interest in this research area has increased over time.

Table 1. General bibliometric statistics

<i>Description</i>	<i>Results</i>
Timespan	2007:2025
Sources (Journals, Books, etc)	63
Documents	129
Annual Growth Rate %	3,93
Document Average Age	3,7
Keywords Plus (ID)	491
Author's Keywords (DE)	373
Authors	627
Authors of single-authored docs	2
Single-authored docs	2
Co-Authors per Doc	6,17
Journal Article	129

When the distribution of publications by years is examined, a clear increasing trend is observed, especially in recent years. As shown in Figure 1, there has been a notable rise in the number of publications after 2020, and this period has become a time frame in which studies in the literature have intensified. This increase indicates a growing interest in alternative strategies aimed at reducing methane emissions in ruminant nutrition.



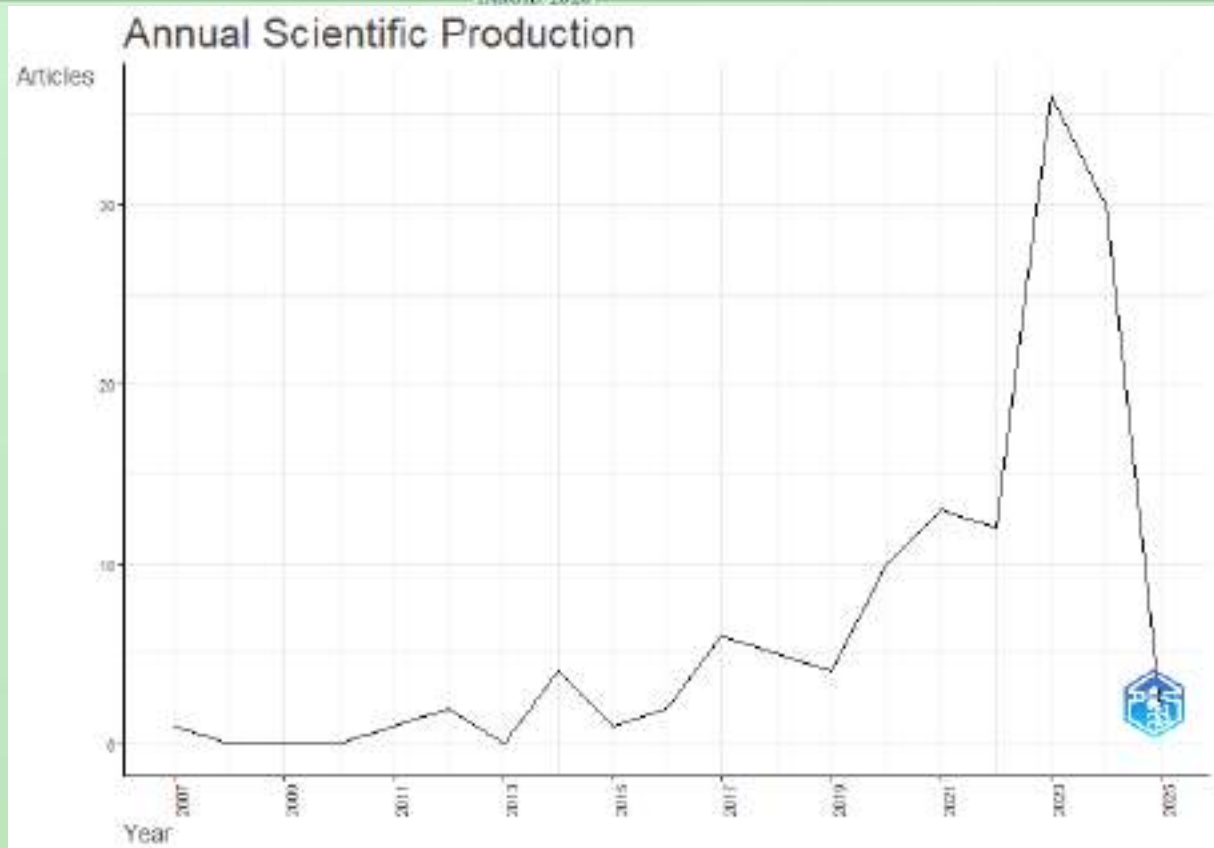


Figure 1. Annual scientific production

The results of the keyword analysis are presented in Figure 2. Examination of the word density map shows that the terms “rumen fermentation,” “methane production,” and “*Asparagopsis taxiformis*” are among the most frequently used keywords. This finding indicates that the studies largely focus on rumen fermentation processes and the mechanisms of methane formation. In addition, it is understood that certain algae species, particularly *Asparagopsis taxiformis*, have become a major focus of research in the literature.



Figure 2. Keyword frequency distribution (word cloud)





The results of the international collaboration analysis are presented in Figure 3. Examination of the map shows that the studies have largely been conducted within the framework of international collaborations. In particular, strong collaboration networks are observed among Australia, the United States, and European countries. This indicates that the research field has gained global importance and that scientific output is shaped by international interaction.

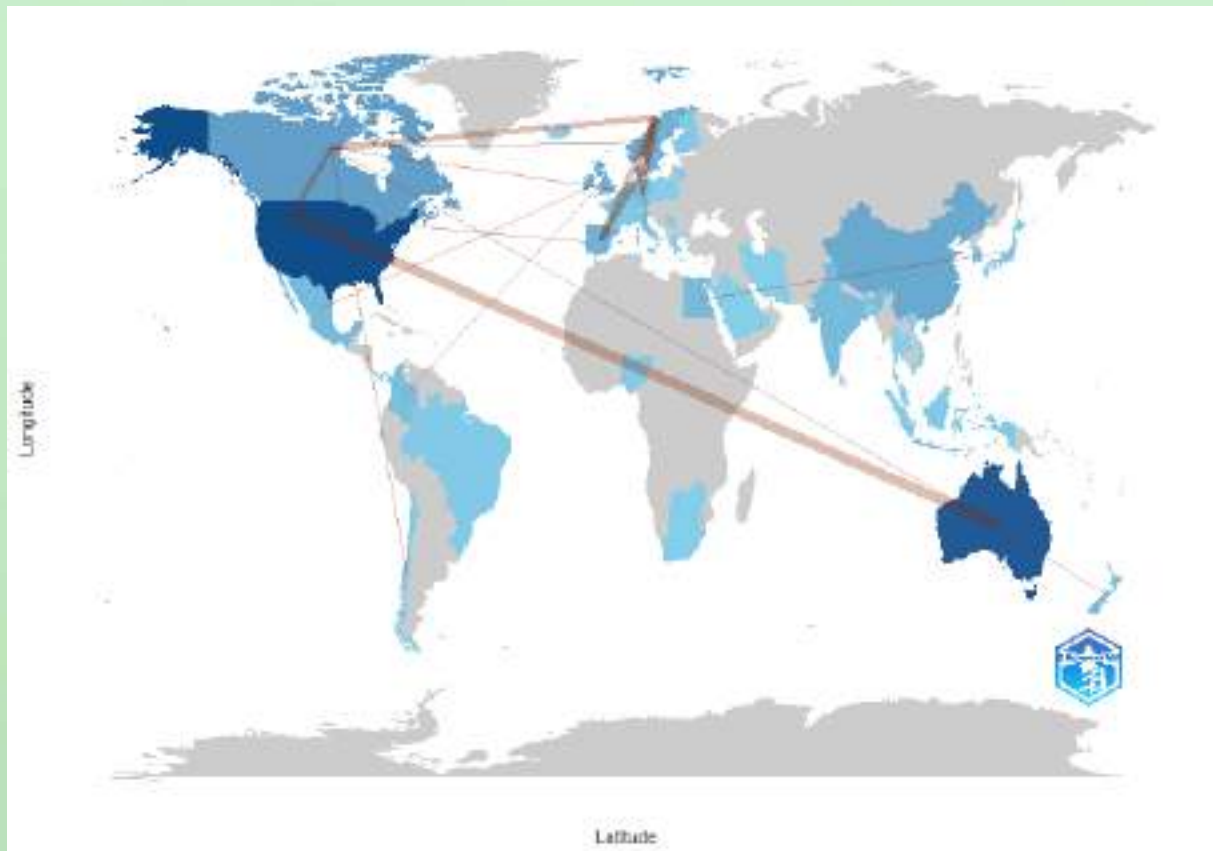


Figure 3. Country collaboration map

Discussion

The findings obtained from this study reveal that research on the use of algae in ruminant nutrition has gained significant momentum, particularly in recent years (Dubois et al., 2013; Sofyan et al., 2022). The increase in the number of publications reflects the growing global awareness of reducing greenhouse gas emissions and the rising interest in sustainable livestock systems.

Keyword analysis indicates that studies are largely focused on rumen fermentation and methane production. Methane production in the rumen is a complex biochemical process carried out by methanogenic microorganisms, and suppressing this process is one of the primary targets for reducing methane emissions (Hook et al., 2010).

In particular, the prominence of *Asparagopsis taxiformis* in the literature is associated with the bioactive compound it contains (bromoform), which directly inhibits methane formation. Studies have shown that even low inclusion levels of this algal species (1–2% of the diet on a dry matter basis) can significantly reduce methane production (Kinley et al., 2020).

However, most of the existing studies consist of short-term experimental research. The long-term effects on animal performance, product quality, and animal health need to be investigated more comprehensively. Additionally, production costs and practical challenges are important factors affecting the widespread adoption of this technology (Roque et al., 2021).

International collaboration analyses indicate that this research field has a global structure. It is well known that scientific collaboration accelerates knowledge production in fields where cooperation is strong (Secinaro et al., 2020).

Overall, the use of algae in ruminant nutrition has significant potential in terms of environmental sustainability (Altomonte et al., 2018). However, more comprehensive and long-term studies are needed to translate this potential into practical applications (Min et al., 2021).





Conclusion

This bibliometric analysis has demonstrated that research on the use of algae in ruminant nutrition is increasing and is particularly focused on methane mitigation. Future studies should focus on comparing different algal species, evaluating their long-term effects, and assessing their economic feasibility.

Declarations

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments

None.

References

- Altomonte, I., Salari, F., Licitra, R., & Martini, M. (2018). Use of microalgae in ruminant nutrition and implications on milk quality – A review. *Livestock Science*, 214, 25–35. <https://doi.org/10.1016/J.LIVSCI.2018.05.006>
- Dubois, B., Tomkins, N. W., Kinley, R. D., Bai, M., Seymour, S., Paul, N. A., & de Nys, R. (2013). Effect of Tropical Algae as Additives on Rumen *in Vitro* Gas Production and Fermentation Characteristics. *American Journal of Plant Sciences*, 04(12), 34–43. <https://doi.org/10.4236/AJPS.2013.412A2005>
- Hook, S. E., Wright, A. D. G., & McBride, B. W. (2010). Methanogens: Methane producers of the rumen and mitigation strategies. *Archaea*, 2010, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2010/945785>
- Jakhmola, R. C., Pahuja, T., & Raghuvansi, S. K. S. (2010). Feeding strategies to reduce enteric methane production in ruminants: a review. *Indian Journal of Small Ruminants*, 16(1), 1–17.
- Kinley, R. D., de Nys, R., Vucko, M. J., Machado, L., & Tomkins, N. W. (2016). The red macroalgae *Asparagopsis taxiformis* is a potent natural antimethanogenic that reduces methane production during *in vitro* fermentation with rumen fluid. *Animal Production Science*, 56(3), 282–289. <https://doi.org/10.1071/AN15576>
- Kinley, R. D., Martinez-Fernandez, G., Matthews, M. K., de Nys, R., Magnusson, M., & Tomkins, N. W. (2020). Mitigating the carbon footprint of ruminant livestock using red seaweed. *Journal of Cleaner Production*, 259, 120836. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120836>
- Klieve, A. V. (2009). Microbial contribution to and amelioration of enteric methane emissions from domestic herbivores. *Microbiology Australia*, 30(2), 82–84. <https://doi.org/10.1071/MA09082>
- Machado, L., Magnusson, M., Paul, N. A., Kinley, R. D., de Nys, R., & Tomkins, N. W. (2016). Dose-response effects of *Asparagopsis taxiformis* and *Oedogonium* sp. on *in vitro* fermentation and methane production. *Journal of Applied Phycology*, 28(2), 1443–1452. <https://doi.org/10.1007/S10811-015-0639-9>
- Maia, M. R. G., Fonseca, A. J. M., Cortez, P. P., & Cabrita, A. R. J. (2019). *In vitro* evaluation of macroalgae as unconventional ingredients in ruminant animal feeds. *Algal Research-Biomass Biofuels and Bioproducts*, 40, 101481. <https://doi.org/10.1016/J.ALGAL.2019.101481>
- Martin, C., Morgavi, D. P., & Doreau, M. (2010). Methane mitigation in ruminants: from microbe to the farm scale. *Animal*, 4(3), 351–365. <https://doi.org/10.1017/S1751731109990620>
- McGurrin, A., Maguire, J., Tiwari, B. K., & Garcia-Vaquero, M. (2023). Anti-methanogenic potential of seaweeds and seaweed-derived compounds in ruminant feed: current perspectives, risks and future prospects. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 14(1). <https://doi.org/10.1186/s40104-023-00946-w>
- Min, B. R., Min, B. R., Parker, D. B., Brauer, D., Waldrip, H. M., Lockard, C., Hales, K. E., Akbay, A., & Augyte, S. (2021). The role of seaweed as a potential dietary supplementation for enteric methane mitigation in ruminants: Challenges and opportunities. *Animal Nutrition*, 7(4), 1371–1387. <https://doi.org/10.1016/J.ANINU.2021.10.003>
- Place, S. E. (2014). *Climate Change: Animal Systems* (pp. 244–255). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00006-1>
- Roque, B. M., Salwen, J. K., Kinley, R., & Kebreab, E. (2021). Red seaweed (*Asparagopsis taxiformis*) reduces enteric methane emissions from dairy cows. *PLOS ONE*, 16(3), e0247820. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247820>
- Secinaro, S., Brescia, V., Calandra, D., & Biancone, P. (2020). Employing bibliometric analysis to identify suitable business models for electric cars. *Journal of Cleaner Production*, 264, 121503. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121503>
- Shrestha, S., Bindari, Y. R., Shrestha, N., & Gaire, T. (2013). Methane Gas Emission in Relation to Livestock: a Review. *Journal of Animal Production Advances*, 3(5), 187–191. <https://doi.org/10.5455/JAPA.20130531095352>
- Singh, G. P., Nagpal, A., & Saini, N. (2005). Methane production in relation to productivity of livestock and the environment: a review. *Indian Journal of Animal Sciences*, 75(1), 143–148.
- Sofyan, A., Irawan, A. C., Herdian, H., Jasmadi, Harahap, M. A., Sakti, A. A., Suryani, A. E., Novianty, H., Kurniawan, T., Darma, I. N. G., & Windarsih, A. (2022). Effects of various macroalgae species on methane production, rumen fermentation, and ruminant production: A meta-analysis from *in vitro* and *in vivo* experiments. *Animal Feed Science and Technology*, 294, 115503–115503. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115503>
- von Ungern-Sternberg, S. (2000). Bradford's Law in the Context of Information Provision. *Scientometrics*, 49(1), 161–186. <https://doi.org/10.1023/A:1005669410627>
- Wanapat, M., Prachumchai, R., Dagaew, G., Matra, M., Phupaboon, S., Sommai, S., & Suriyapha, C. (2024). Potential use of seaweed as a dietary supplement to mitigate enteric methane emission in ruminants. *Science of The Total Environment*, 173015–173015. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173015>





- Wang, D.-Y., & Ma, S. (2016). Literature Review on Bibliometrics and Its Future Development—Based on Bibliometric Measures. <https://doi.org/10.2991/SSCHD-16.2016.26>
- Wasson, D., Yarish, C., & Hristov, A. N. (2022). Enteric methane mitigation through *Asparagopsis taxiformis* supplementation and potential algal alternatives. *Frontiers in Animal Science*, 3. <https://doi.org/10.3389/fanim.2022.999338>
- Wei, W., & Jiang, Z. (2023). A bibliometrix-based visualization analysis of international studies on conversations of people with aphasia: Present and prospects. *Heliyon*, 9(6). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16839>
- Zupic, I., & Čater, T. (2015). Bibliometric methods in management and organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429–472. <https://doi.org/10.1177/1094428114562629>





Wool Pellets as a Slow-Release Fertilizer and Potential Insect Management in Sustainable Agriculture

Prodipto Bishnu Angon^{1*}, Orsolya Pintér¹

¹Department of Integrated Plant Protection, Hungarian University of Agriculture and Life Science (MATE), Gödöllő, 2100, Hungary

Abstract

Wool biomass is a plentiful but underexploited agricultural by-product with significant promise for sustainable crop production systems. Wool, especially in pelletized form, is abundant in keratin-derived nitrogen and sulfur, making it a promising slow-release fertilizer that can improve soil fertility, water retention, and microbial activity. This review synthesizes current findings on the agronomic uses of wool, emphasizing the morphological and physiological responses of plants to wool pellet amendments and their possible impact on insect populations. Research from both field and controlled research indicates that wool pellets can markedly enhance plant growth metrics, such as biomass accumulation, root development, and nutrient uptake efficiency, mostly owing to their slow nutrient mineralization. Furthermore, wool-based supplements enhance soil structure and moisture retention, hence bolstering plant resilience amid fluctuating environmental conditions. Notwithstanding these advantages, the function of wool pellets in pest management remains little investigated. Anecdotal and preliminary data indicate potential deterrent effects; nevertheless, systematic studies on their influence on insect populations, behavior, and underlying mechanisms are scarce. This review emphasizes the dual capability of wool pellets as a biofertilizer and an element of integrated pest management systems. Nevertheless, significant research deficiencies remain, especially concerning long-term ecological consequences, economic viability, and the uniformity of pest deterrent efficacy across agricultural systems. Rectifying these deficiencies is crucial for standardizing application techniques and completely incorporating wool biomass into circular and sustainable farming processes.

Key Words: Sheep wool, Sustainable agriculture, Organic fertilizer, Plant morphology and physiology, Insect management





Molecular Mechanisms of Plant Responses to Abiotic Stress: Salinity and Heavy Metals

Seda Mesci^{1*}

¹Project Coordination and Guidance Office, Rectorate, Hitit University, 19100, Çorum, Turkey

Abstract

Abiotic stresses are among the major environmental factors limiting plant growth and productivity, including salinity, heavy metal accumulation, drought, and temperature extremes. These stress conditions disrupt cellular homeostasis by affecting ion balance, osmotic regulation, metabolic processes, and gene expression, thereby negatively influencing plant development. Therefore, understanding plant responses to abiotic stress at the molecular level is essential for improving stress tolerance and ensuring sustainable agricultural production. Molecular approaches, particularly gene expression analyses, are effective tools for identifying defense mechanisms and adaptation processes activated under stress conditions. In this review, recent and well-recognized studies on abiotic stress conditions were reviewed, and the key molecular mechanisms and approaches involved in these processes were systematically evaluated. Molecular responses are observed to vary depending on plant species differences and the type and dose of salinity and heavy metal stress and are shaped according to specific stress conditions. This study highlights the importance of molecular responses to abiotic stress and emphasizes that understanding these mechanisms is crucial for developing stress-tolerant plant varieties and supporting sustainable agricultural practices.

Key Words: Abiotic stress, Salinity stress, Heavy metal stress, Molecular mechanisms, Stress tolerance

Abiyotik Strese Karşı Bitki Yanıtlarının Moleküler Mekanizmaları: Tuzluluk ve Ağır Metaller

Özet

Abiyotik stresler, bitki büyümesi ve verimliliğini sınırlayan en önemli çevresel faktörler arasında yer almakta olup tuzluluk, ağır metal birikimi, kuraklık ve sıcaklık değişimleri gibi çeşitli stres koşullarını kapsamaktadır. Bu stresler bitkilerde iyon dengesi, osmotik düzenleme, metabolik süreçler ve gen ekspresyonu gibi temel hücresel mekanizmaları etkileyerek bitki gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle bitkilerin abiyotik streslere karşı verdiği yanıtların moleküler düzeyde anlaşılması, stres toleransının artırılması ve sürdürülebilir tarımsal üretimin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Moleküler yaklaşımlar, özellikle gen ekspresyon analizleri, stres koşullarına bağlı olarak aktive olan savunma mekanizmalarının ve adaptasyon süreçlerinin belirlenmesinde etkili yöntemler arasında yer almaktadır. Bu derleme kapsamında, abiyotik stres koşullarına ilişkin güncel ve saygın literatür incelenmiş ve bu süreçlerde rol oynayan temel moleküler mekanizmalar ile yaklaşımlar sistematik bir çerçevede değerlendirilmiştir. Bitki türlerindeki farklılıklar ile uygulanan tuz ve ağır metal stresinin türü ve dozuna bağlı olarak moleküler yanıtların değişkenlik gösterdiği ve bu yanıtların stres koşullarına özgü olarak şekillendiği gözlenmektedir. Bu çalışmada, abiyotik streslerin bitkiler üzerindeki etkileri ve bu streslere karşı gelişen moleküler yanıtların önemi ele alınmakta olup, bu mekanizmaların anlaşılmasının stres toleransına sahip bitki çeşitlerinin geliştirilmesine katkı sağlayacağı ve sürdürülebilir tarım uygulamaları açısından önemli olduğu vurgulanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Abiyotik stres, Tuz stresi, Ağır metal stresi, Moleküler mekanizmalar, Stres toleransı





Changes in the Physicochemical and Antioxidant Properties of Granny Smith Apples Depending on Drying Conditions

Mehmet Yetişen^{1*}, Ümmügülsüm Kaplan¹, Cem Baltacıoğlu¹

¹ Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, Niğde, Türkiye

Abstract

In this study, the effects of air fryer and hot air drying methods applied at different temperatures (50, 60, and 70°C) on the physicochemical and bioactive properties of Granny Smith apple slices were comparatively investigated. The results showed that the air fryer method provided more effective drying performance compared to hot air drying due to its lower water activity (0.186–0.189) and moisture content (5.72–8.01%). In contrast, samples dried in an hot air drying exhibited higher moisture content (8.40–9.49%). Color parameters were only slightly affected by drying conditions, with increased pigment degradation observed at higher temperatures. The highest total phenolic content was determined in the sample dried at 60°C in the air fryer, and it was observed that moderate temperatures are more suitable for the preservation of phenolic compounds. The fact that antioxidant activity did not show a direct correlation with total phenolic content indicates that thermal treatments affect the structure of antioxidant compounds. Principal component analysis results showed that the samples differed significantly depending on the drying method. Overall, drying at 60°C using an air fryer was determined to be the most suitable condition for both effective drying and the preservation of bioactive compounds.

Key Words: *Granny Smith Apple, Air fryer, Hot air drying, Phenolic compounds, Antioxidant activity*

Kurutma Koşullarına Bağlı Olarak Granny Smith Elmanın Fizikokimyasal ve Antioksidan Özelliklerinin Değişimi

Özet

Bu çalışmada, farklı sıcaklıklarda (50, 60 ve 70°C) uygulanan air fryer ve etüv kurutma yöntemlerinin Granny Smith elma dilimlerinin fizikokimyasal ve biyoaktif özellikleri üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Sonuçlar, air fryer yönteminin daha düşük su aktivitesi (0,186–0,189) ve nem içeriği (%5,72–8,01) sağlaması nedeniyle etüv kurutmaya kıyasla daha etkin bir kurutma performansı sunduğunu göstermiştir. Etüv ile kurutulan örneklerde ise nem içeriği daha yüksek (%8,40–9,49) bulunmuştur. Renk parametreleri kurutma koşullarından sınırlı düzeyde etkilenmiş, yüksek sıcaklıklarda pigment degradasyonu artmıştır. Toplam fenolik madde içeriği en yüksek air fryer’da 60°C’de kurutulan örnekte belirlenmiş olup, orta sıcaklıkların fenolik bileşiklerin korunması açısından daha uygun olduğu görülmüştür. Antioksidan aktivitenin toplam fenolik madde ile doğrudan bir korelasyon göstermemesi, ısıl işlemlerin antioksidan bileşiklerin yapısını etkilediğini ortaya koymuştur. Temel bileşen analizi sonuçları, kurutma yöntemine bağlı olarak örneklerin belirgin şekilde ayrıştığını göstermiştir. Genel olarak, air fryer ile 60°C’de kurutma işlemi hem etkili kurutma hem de biyoaktif bileşiklerin korunması açısından en uygun koşul olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Granny Smith elma, Hava fritözü, Fırında kurutma, Fenolik bileşikler, Antioksidan aktivite*

Giriş

Elmalar (*Malus domestica* Borkh.), duyuşal özellikleri, besin değeri ve uzun süre saklanabilme özelliği nedeniyle dünya çapında en çok tüketilen ve ekonomik açıdan en önemli meyveler arasında yer almaktadır. Yıl boyunca tüketici talebini karşılamak ve hasat sonrası kayıpları azaltmak amacıyla elmalar, genellikle birkaç ay boyunca soğuk veya kontrollü atmosfer koşullarında depolanmaktadır (Mikus & Galus, 2025). Granny Smith, 19. yüzyılda Avustralya’nın Yeni Güney Galler eyaletinde Maria Ann “Granny” Smith tarafından keşfedilen, geç olgunlaşan bir elma çeşididir. İlk ağaç 1868 yılına kadar meyve vermeye başlamıştı. Bu, *Malus sylvestris* (Avrupa yabani elma çeşidi “French Crab”) ile *Malus domestica* (evcilleştirilmiş elma) arasındaki kendiliğinden melezleşmeden kaynaklanan tesadüfi bir fidan idi. Avustralya’da 1920’lerde “Granny Smith” için önemli plantasyonlar kuruldu, ancak bu elma türü 1950’lerden itibaren dünya çapında önem kazanmaya başladı (Volk & Bramel, 2021). Parlak yeşil kabuğu, sert dokusu, ekşi-tatlı tadı ve sulu yapısı sayesinde kolayca tanınır (Karuppanapandian et al., 2022). Yüksek asitliği, sertliği ve düşük etilen üretimi nedeniyle Granny Smith elmaları, uzun süreli depolamaya özellikle uygundur (Mikus & Galus, 2025).





Elma, yüksek besin değeri nedeniyle atıştırmalık olarak ideal bir meyvedir. Damar fonksiyonu, kan basıncı, kan yağları, iltihaplanma ve hiperglisemi üzerinde olumlu etkileri olduğu ve kalp-damar hastalıklarının önlenmesine yardımcı olduğu kanıtlanmıştır (Arora et al., 2018; Bondonno et al., 2017; Sandoval-Ramírez et al., 2020). Gıda endüstrisinde elma atıştırmalıkları üretmek için genellikle kurutma yöntemi kullanılır (Taghinezhad et al., 2023). Ancak, kurutma yöntemine ve işlem koşullarına bağlı olarak, geleneksel kurutma teknikleri kullanılarak kurutulan ürünlerde renk değişimi, düşük yeniden sulanma kapasitesi ve besin kaybı gibi birçok istenmeyen değişiklik meydana gelir (Jin et al., 2019). Bu sınırlamalar, yeni teknolojilerin geliştirilmesine ve halihazırda kullanılan kurutma tekniklerinin iyileştirilmesine zemin hazırlamıştır. Air fryer teknolojisi de son yıllarda geliştirilen teknolojilerden biridir. Temel olarak, hava fritözü (air fryer), ısı ve kütle transferinin aynı anda gerçekleştiği bir kurutma yöntemidir. Bu, suyun buharlaşmasına ve çeşitli kimyasal değişikliklere yol açar (Andrés et al., 2012). Bu süreçte, ısıtılmış havadan gıdanın dış tabakasına konvektif ısı transferi gerçekleşir; bunu, gıdanın iç kısmında iletken ısı transferi izler. Sıcak havaya maruz kalma ile ortaya çıkan etkenler ve yüksek sıcaklık, konsantrasyon ve basınç farkları, gıda içindeki nemin hareket etmesine yol açar (Fikry et al., 2024).

Kurutma işlemi, elma gibi yüksek nem içeriğine sahip meyvelerin raf ömrünü uzatmak amacıyla yaygın olarak uygulanmakta olup, literatürde ağırlıklı olarak konvektif sıcak hava, infrared, mikrodalga ve vakum destekli sistemler üzerine çalışmalar bulunmaktadır. Bununla birlikte, son yıllarda ev tipi ve endüstriyel uygulamalarda giderek yaygınlaşan air fryer teknolojisinin kurutma performansı ve ürün kalitesi üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar oldukça sınırlıdır. Mevcut çalışmalar genellikle kurutma kinetiği, yeniden hidrasyon ve ileri kurutma tekniklerine odaklanırken, air fryer gibi alternatif bir yöntemin geleneksel etüv kurutma ile karşılaştırmalı olarak fizikokimyasal ve biyoaktif özellikler üzerindeki etkileri yeterince ortaya konmamıştır. Bu nedenle, bu çalışmanın amacı, farklı sıcaklıklarda uygulanan air fryer ve etüv kurutma yöntemlerinin Granny Smith elmaların renk, nem, su aktivitesi ve biyoaktif bileşenler üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak değerlendirmek ve optimum kurutma koşullarını belirleyerek literatürdeki bu boşluğa katkı sağlamaktır.

Materyal ve Metot

Materyal

Bu çalışmada kullanılan Granny Smith elma örnekleri, Türkiye'nin Niğde ilindeki yerel bir pazardan temin edilmiştir. Elmalar, deneysel işlemler öncesinde görsel olarak seçilmiş, herhangi bir fiziksel hasar veya çürüme belirtisi göstermeyen örnekler kullanılmıştır. Numuneler analiz öncesinde yıkanmış ve yüzey nemi uzaklaştırıldıktan sonra işleme alınmıştır.

Örnek Hazırlama ve Kurutma İşlemi

Elmalar, yaklaşık 2 mm kalınlığında ve 3 cm çapında dilimler halinde kesilmiştir. Hazırlanan elma dilimleri Air fryer kurutma (Airfryer Combi 7000 Series XXL, Philips) (A) ve Etüv (sıcak hava fırını) kurutma (Isotex, Türkiye) (E) yöntemleri kullanılarak kurutulmuştur. Her iki kurutma yöntemi için de 50, 60 ve 70°C sıcaklıklar uygulanmıştır. Kurutma işlemi, örneklerin nem içeriği yaklaşık %10'un altına düşene kadar devam ettirilmiştir. Elde edilen örnekler, uygulanan yöntem ve sıcaklığa göre A50, A60, A70, E50, E60 ve E70 olarak kodlanmıştır.

Fizikokimyasal Analizler

Renk Analizi

Örneklerin renk parametreleri (L^* , a^* , b^*) bir renk ölçüm cihazı (Konica Minolta CR-400, Japan) kullanılarak belirlenmiştir. Ölçümler CIE Lab* renk sistemine göre gerçekleştirilmiştir.

Su Aktivitesi

Su aktivitesi değerleri, uygun bir su aktivitesi ölçüm cihazı (Novasina, Switzerland) kullanılarak belirlenmiştir.

Nem Tayini

Nem içeriği, standart gravimetrik yöntem kullanılarak belirlenmiş ve sonuçlar yüzde (%) olarak ifade edilmiştir.

Kül Tayini

Kül içeriği, numunelerin 600°C sıcaklıkta yakılması esasına dayanan standart yöntem ile analiz edilmiş ve yüzde (%) olarak hesaplanmıştır.

Biyoaktif Özellik Analizleri

Toplam Fenolik Madde (TFM) Tayini

Toplam fenolik madde içeriği, Folin-Ciocalteu yöntemi kullanılarak belirlenmiştir (Singleton & Rossi, 1965). Fenolik bileşikler %80 metanol (%1 HCl) ile ekstrakte edildi, 40 rpm'de 4 saat boyunca çalkalandı ve 4 °C'de 4000×g'de 15 dakika boyunca santrifüjlendi. 100 µL ekstrakte 0,75 mL Folin reaktifi (%10) ve 0,75 mL Na₂CO₃ (75 g/L) ilave edildi. Karanlıkta 1 saat inkübe edildikten sonra, 725 nm'de absorbans okundu. Sonuçlar, kuru numune kilogramı başına mg gallik asit eşdeğeri (GAE) olarak ifade edildi.





Antioksidan Aktivite (DPPH) Tayini

Elma örneklerindeki antioksidan aktivite, Payet ve arkadaşları tarafından belirtilen değişikliklerle DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) yöntemi kullanılarak belirlendi ve sonuçlar % inhibisyon olarak hesaplanmıştır (Payet et al., 2005).

Çok Değişkenli Analiz

Değişkenler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi ve örneklerin sınıflandırılması amacıyla Temel Bileşen Analizi (PCA) Minitab® 21.4.1. (ABD) programı kullanılarak uygulanmıştır.

İstatistiksel Analiz

Tüm analizler üç tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiş ve sonuçlar ortalama $\pm$ standart sapma şeklinde ifade edilmiştir. Verilerin istatistiksel değerlendirilmesinde Minitab® 21.4.1. (ABD) programı kullanılmıştır. Gruplar arasındaki farkların belirlenmesinde tek yönlü varyans analizi (ANOVA) uygulanmış ve anlamlı farklılıkların tespitinde Tukey çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır ($p<0,05$).

Sonuçlar ve Tartışma

Fizikokimyasal Özellikler

Örneklerin fizikokimyasal özelliklerini gösteren bilgiler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Örneklerin fizikokimyasal özellikleri

Örnekler	L*	a*	b*	Su aktivitesi	Kül (%)	Nem (%)
A50	73,09 $\pm$ 4,93 ^a	-1,97 $\pm$ 3,53 ^b	32,41 $\pm$ 4,9 ^{ab}	0,189 $\pm$ 0,01 ^{bc}	0,02 $\pm$ 0,002 ^a	7,43 $\pm$ 0,67 ^{ab}
A60	63,81 $\pm$ 6,25 ^a	0,66 $\pm$ 4,03 ^{ab}	35,88 $\pm$ 2,12 ^{ab}	0,186 $\pm$ 0,01 ^c	0,02 $\pm$ 0,001 ^a	8,01 $\pm$ 0,52 ^a
A70	69,43 $\pm$ 7,83 ^a	-0,19 $\pm$ 5,52 ^{ab}	28,63 $\pm$ 7,69 ^b	0,186 $\pm$ 0,01 ^c	0,02 $\pm$ 0,001 ^a	5,72 $\pm$ 2,23 ^b
E50	66,83 $\pm$ 3,68 ^a	-0,06 $\pm$ 2,05 ^{ab}	34,15 $\pm$ 1,32 ^{ab}	0,220 $\pm$ 0,02 ^a	0,003 $\pm$ 0,03 ^a	8,40 $\pm$ 0,83 ^{ab}
E60	70,39 $\pm$ 7,45 ^a	-2,10 $\pm$ 3,72 ^b	32,53 $\pm$ 2,83 ^{ab}	0,218 $\pm$ 0,01 ^a	0,02 $\pm$ 0,001 ^a	9,49 $\pm$ 1,30 ^a
E70	64,26 $\pm$ 6,14 ^a	5,81 $\pm$ 2,09 ^{ab}	36,68 $\pm$ 2,47 ^b	0,216 $\pm$ 0,01 ^{ab}	0,02 $\pm$ 0,001 ^a	8,43 $\pm$ 1,60 ^b

Aynı sütunda yer alan ve farklı harflerle (a-c) gösterilen örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlılık vardır ($p<0,05$).

Örneklerin renk parametreleri (L*, a*, b*) incelendiğinde, kurutma yöntemi ve sıcaklık değişiminin renk özellikleri üzerinde sınırlı ancak yönlü etkiler oluşturduğu belirlenmiştir ($p<0,05$). L* değerleri açısından örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamakla birlikte, air fryer ile kurutulan örneklerin genel olarak daha yüksek parlaklık değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bu durum, air fryer sisteminde daha hızlı nem uzaklaştırılması ve buna bağlı olarak enzimatik ve non-enzimatik esmerleşme reaksiyonlarının sınırlandırılması ile açıklanabilir. Örneklerin a* değerleri incelendiğinde, negatif değerlerin yeşil tonu temsil ettiği dikkate alındığında, özellikle A50 ve E60 örneklerinde yeşil rengin daha iyi korunduğu görülmektedir. Buna karşılık E70 örneğinde pozitif a* değerinin artması, yüksek sıcaklıkta etüv kurutmanın pigment degradasyonunu hızlandırarak kırmızımsı tonların oluşumuna neden olduğunu göstermektedir. b* değerleri açısından değerlendirildiğinde, özellikle E70 ve A60 örneklerinde daha yüksek sarılık değerleri elde edilmiştir. Bu durum, yüksek sıcaklık uygulamalarının pigment konsantrasyonu ve bazı renk bileşiklerinin göreceli stabilitesi ile ilişkili olabilir. Su aktivitesi sonuçları, air fryer ile kurutulan örneklerin (0,186–0,189) etüv kurutmaya göre (0,216–0,220) daha düşük değerlere sahip olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, air fryer yönteminin daha etkin bir nem uzaklaştırma kapasitesine sahip olduğunu ve ürünlerin mikrobiyal stabilite açısından daha avantajlı olduğunu ortaya koymaktadır. Örneklerin nem içeriği sonuçları incelendiğinde, air fryer ile kurutulan örneklerde nem değerlerinin %5,72–8,01 aralığında, etüv ile kurutulan örneklerde ise %8,40–9,49 aralığında değiştiği belirlenmiştir. En düşük nem içeriği A70 örneğinde (%5,72) elde edilmiş olup, artan sıcaklık ile birlikte air fryer sisteminde nem uzaklaştırma etkinliğinin arttığı görülmektedir. Etüv kurutma yönteminde ise sıcaklık artışına rağmen nem içeriğinin görece yüksek kalması, bu yöntemde ısı ve kütle transferinin daha yavaş gerçekleşmesi ile açıklanabilir. Bu durum, air fryer yönteminin kurutma etkinliği açısından daha üstün olduğunu göstermektedir. Kül içeriği açısından örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmaması, kurutma işlemlerinin mineral madde içeriği üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını göstermektedir.

Biyoaktif Özellikler (TFM ve Antioksidan Aktivite)

Örneklerin biyoaktif özelliklerini gösteren bilgiler Tablo 2’de verilmiştir.

Toplam fenolik madde (TFM) sonuçları, kurutma yöntemi ve sıcaklığın bu parametre üzerinde belirgin etkiler oluşturduğunu göstermektedir. En yüksek TFM değeri A60 örneğinde elde edilmiş olup, bu durum orta sıcaklıkta gerçekleştirilen air fryer kurutmanın fenolik bileşiklerin korunması açısından en uygun koşul olduğunu göstermektedir. Daha düşük sıcaklıklarda fenolik bileşiklerin ekstraksiyonunun sınırlı kalabileceği, daha yüksek sıcaklıklarda ise termal degradasyonun artabileceği düşünülmektedir. Etüv ile kurutulan örneklerde TFM değerlerinin daha düşük ve dar bir aralıkta değiştiği gözlenmiştir. Bu durum, daha uzun kurutma süresinin fenolik





bileşiklerin oksidatif kaybını artırması ile ilişkilendirilebilir. Antioksidan aktivite sonuçları incelendiğinde, toplam fenolik madde ile doğrudan bir korelasyon olmadığı görülmektedir. Özellikle A50 örneğinde yüksek inhibisyon değeri elde edilmesine rağmen, A60 örneğinde daha düşük antioksidan aktivite belirlenmiştir. Bu durum, antioksidan kapasitenin yalnızca toplam fenolik miktarına bağlı olmadığını, aynı zamanda fenolik bileşiklerin yapısal özellikleri, sinerjik etkileşimleri ve ısıl işlem sırasında oluşan yeni antioksidan bileşiklerin varlığı ile ilişkili olduğunu göstermektedir.

Tablo 2. Örneklerin biyoaktif özellikleri

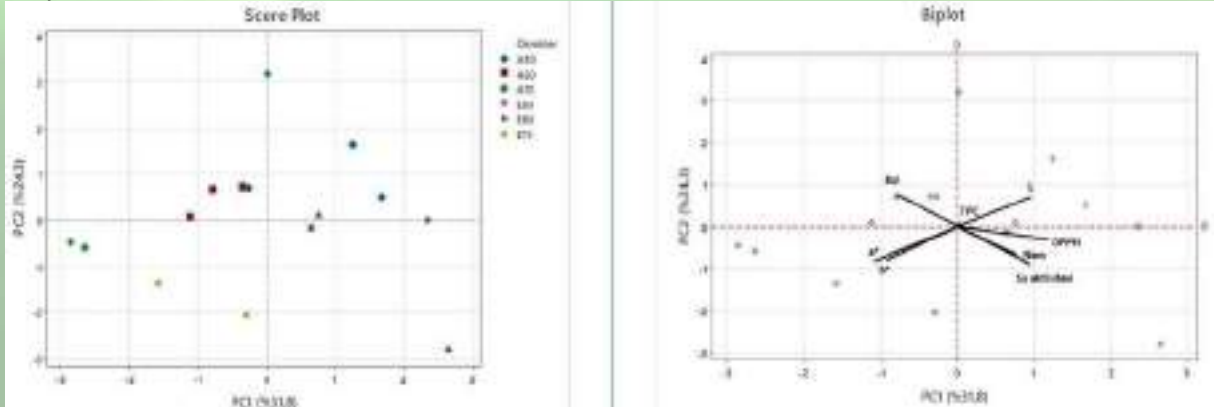
Örnekler	TFM (mg GAE/kg)	% İnhibisyon
A50	3654±322 ^{bc}	65,5±2,1 ^a
A60	5760±138 ^a	32,07±2,45 ^b
A70	3323±93 ^c	26,83±0,78 ^b
E50	4094±127 ^b	58,43±2,92 ^a
E60	3895±262 ^{bc}	58,49±2,17 ^a
E70	3499±461 ^c	50,32±2,4 ^b

Aynı sütunda yer alan ve farklı harflerle (a-c) gösterilen örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlılık vardır (p<0,05).

Literatürde kurutma sıcaklığının artmasıyla kütle transferinin ve kurutma etkinliğinin arttığı rapor edilmiştir (Riveros-Gomez et al., 2022); bu durum çalışmamızda da 70°C’de en düşük nem değerinin elde edilmesiyle uyumludur. Ancak, fenolik bileşiklerin korunumu açısından en uygun sıcaklığın 60°C olması, yüksek sıcaklıkların kalite üzerinde olumsuz etkiler oluşturabileceğini göstermekte ve literatürle kısmi farklılık ortaya koymaktadır. Önceki çalışmalarda, kurutma sıcaklığının artmasıyla renk parametreleri ve fiziksel özelliklerin önemli ölçüde değiştiği ve özellikle kızılötesi (IR) kurutmada birçok parametrenin sıcaklıkla anlamlı ilişki gösterdiği rapor edilmiştir (p<0,05) (Dajbych et al., 2023); bu durum çalışmamızda da renk değerlerindeki değişimlerle uyumludur. Maillard reaksiyonuna dayalı çalışmada, basınç düşüşü destekli sıcak hava kurutma (DIC) ile fruktozda %18,95–45,68, glikozda yaklaşık %50 ve serbest amino asitlerde %80,7–95,1 oranında azalma ve buna bağlı belirgin esmerleşme gözlenmiştir (Li et al., 2022); benzer şekilde bu çalışmada da yüksek sıcaklıklarda renk değişimlerinin artması bu eğilimi desteklemektedir. Gelişmiş kurutma tekniklerinde mikrodalga vakum kurutma (MWVD) toplam fenolik madde ve antioksidan aktivitenin hava kurutmaya kıyasla sırasıyla 2–1,87 ve 1,98–1,74 kat arttığı bildirilmiştir (Bulantekin & Kuşçu, 2024); bu durum çalışmamızda air fryer uygulamasında daha yüksek TFM değerlerinin elde edilmesiyle paralellik göstermektedir. Farklı kurutma yöntemlerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada ise Granny Smith elmalarda TFM’nin 40,08 mg GAE/g, DPPH inhibisyonunun %46,96 ve FRAP değerinin 68,01 µg Trolox/g olduğu belirlenmiştir (Çetin & Sağlam, 2023); bu sonuçlar çalışmamızdaki yüksek antioksidan aktivite değerleriyle benzerlik göstermektedir. Ayrıca, proses koşullarının optimize edildiği bir çalışmada, belirli sıcaklık ve basınç koşullarında fenolik bileşiklerin ve antioksidan aktivitenin önemli ölçüde arttığı (>%85 model açıklama gücü) rapor edilmiştir (Bulantekin & Bardakçı, 2025); bu durum çalışmamızda 60°C’de maksimum TFM elde edilmesiyle uyumludur. Buna karşın, bazı çalışmalarda düşük sıcaklık (45°C) ve ince dilim kalınlığında daha yüksek fenolik içerik ve antioksidan aktivite elde edildiği belirtilmiştir (Demiray et al., 2023); bu durum çalışmamızda optimum sıcaklığın 60°C olmasıyla kısmi farklılık göstermektedir. Son olarak, ön işlemlerle kurutma süresinin %64–74 oranında azaltılabildiği ve nem uzaklaştırmanın artırıldığı bildirilmiştir (Wu et al., 2025); bu çalışmada air fryer ile daha düşük nem (%5,72) ve su aktivitesi değerlerinin elde edilmesi benzer bir kurutma etkinliğine işaret etmektedir.

Temel Bileşen Analizi (PCA)

Temel bileşen analizlerine ait grafikler ve özvektörleri gösterir bilgiler sırasıyla Şekil 1 ve Tablo 3’te verilmiştir.



Şekil 1. Örnekler için score ve biplot grafikleri





Tablo 3. Örneklerle ait özvektörler

<i>Değişken</i>	<i>PC1</i>	<i>PC2</i>	<i>PC3</i>	<i>PC4</i>	<i>PC5</i>	<i>PC6</i>	<i>PC7</i>	<i>PC8</i>
Özdeğer	2,5446	1,9476	1,3907	0,8168	0,7266	0,2861	0,2166	0,0711
Oran	0,318	0,243	0,174	0,102	0,091	0,036	0,027	0,009
Kümülatif	0,318	0,562	0,735	0,837	0,928	0,964	0,991	1,000
L	0,377	0,363	0,127	-0,570	0,141	0,167	0,581	0,033
a*	-0,429	-0,426	0,261	-0,150	-0,017	-0,187	0,362	0,614
b*	-0,366	-0,415	-0,100	-0,453	0,401	0,111	-0,024	-0,552
Su aktivitesi	0,373	-0,463	0,149	0,279	-0,261	-0,293	0,460	-0,424
Kül	-0,312	0,393	0,068	0,452	0,556	-0,301	0,345	-0,143
TFM	0,014	0,045	-0,787	-0,214	-0,093	-0,552	0,102	0,092
DPPH	0,462	-0,157	0,282	-0,150	0,494	-0,475	-0,403	0,165
Nem	0,299	-0,345	-0,424	0,312	0,434	0,467	0,164	0,284

Temel bileşen analizi sonuçlarına göre toplam varyansın %56,2'si ilk iki ana bileşen (PC1 ve PC2) ile açıklanmaktadır. PC1 üzerinde DPPH, L* ve su aktivitesinin pozitif; a* ve b* değerlerinin negatif yükler sergilediği belirlenmiştir. Bu durum, renk parametreleri (a* ve b*) ile antioksidan aktivite arasında ters yönlü bir ilişki olabileceğini göstermektedir. PC2 bileşeninde ise kül ve renk parametrelerinin daha baskın olduğu, buna karşılık nem ve su aktivitesinin negatif yönde katkı sağladığı görülmektedir. Bu bileşen, örneklerin fiziksel kalite özelliklerini temsil etmektedir. TFM'nin PC3 üzerinde yüksek yük göstermesi, fenolik içeriğin diğer parametrelerden bağımsız bir değişim sergilediğini ortaya koymaktadır. Biplot grafiği incelendiğinde, air fryer ve etüv ile kurutulan örneklerin belirgin şekilde ayrıştığı ve özellikle A60 örneğinin yüksek TFM içeriği ile farklı bir konumda yer aldığı görülmektedir. Bu durum, kurutma yönteminin ürün özellikleri üzerinde belirleyici bir faktör olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Sonuç

Bu çalışma, kurutma yöntemi ve sıcaklığının Granny Smith elmaların kalite özellikleri üzerinde önemli etkiler oluşturduğunu göstermiştir. Air fryer kurutma yöntemi, daha düşük su aktivitesi ve nem içeriği sağlaması nedeniyle etüv kurutmaya kıyasla daha etkin bulunmuş ve ürün stabilitesi açısından avantaj sağlamıştır. Özellikle 60°C'de gerçekleştirilen air fryer kurutma işlemi, toplam fenolik madde içeriğinin korunması açısından en uygun koşul olarak belirlenmiştir. Daha yüksek sıcaklıklarda fenolik bileşiklerde azalma gözlenmiş olup bu durum termal degradasyon ile ilişkilendirilmiştir. Antioksidan aktivitenin toplam fenolik madde ile doğrudan ilişki göstermemesi, antioksidan kapasitenin bileşiklerin yapısına ve işlem sırasında oluşan yeni ürünlere bağlı olduğunu ortaya koymuştur. Temel bileşen analizi sonuçları, kurutma yöntemlerinin ürün özellikleri üzerinde belirgin bir ayrım oluşturduğunu desteklemiştir. Sonuç olarak, air fryer kurutma yöntemi, özellikle 60°C'de uygulandığında, düşük nem içeriği (%5,72'ye kadar) ve yüksek biyoaktif bileşik korunumu ile kaliteli kurutulmuş elma üretimi için etkili ve alternatif bir yöntem olarak değerlendirilmektedir.

Referanslar

- Andrés, A., Arguelles, Á., Castelló, M. L., & Heredia, A. (2012). Mass Transfer and Volume Changes in French Fries During Air Frying. *Food and Bioprocess Technology* 2012 6:8, 6(8), 1917–1924. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0861-2>
- Arora, B., Sethi, S., Joshi, A., Sagar, V. R., & Sharma, R. R. (2018). Antioxidant degradation kinetics in apples. *Journal of Food Science and Technology* 2018 55:4, 55(4), 1306–1313. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3041-1>
- Bondonno, N. P., Bondonno, C. P., Ward, N. C., Hodgson, J. M., & Croft, K. D. (2017). The cardiovascular health benefits of apples: Whole fruit vs. isolated compounds. *Trends in Food Science & Technology*, 69(4), 243–256. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.04.012>
- Bulantekin, Ö., & Bardakçı, M. S. (2025). Investigation of the effects of variable process conditions on the production of Apple snacks by explosion puffing drying. *Scientific Reports* 2025 15:1, 15(1), 34721-. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-18380-5>
- Bulantekin, Ö., & Kuşçu, A. (2024). Evaluation of microwave vacuum drying combined with explosion puffing drying and compared with microwave vacuum drying and hot-air drying by the quality of the dried apple slices. *Cogent Food and Agriculture*, 10(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2404699>
- Çetin, N., & Sağlam, C. (2023). Effects of ultrasound pretreatment assisted drying methods on drying characteristics, physical and bioactive properties of windfall apples. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(2), 534–547. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12164>





- Dajbych, O., Kabutey, A., Mizera, Č., & Herák, D. (2023). Investigation of the Effects of Infrared and Hot Air Oven Drying Methods on Drying Behaviour and Colour Parameters of Red Delicious Apple Slices. *Processes*, 11(10), 3027. <https://doi.org/10.3390/pr11103027>
- Demiray, E., Yazar, J. G., Aktok, Ö., Çulluk, B., Çalışkan Koç, G., & Pandiselvam, R. (2023). The Effect of Drying Temperature and Thickness on the Drying Kinetic, Antioxidant Activity, Phenolic Compounds, and Color Values of Apple Slices. *Journal of Food Quality*, 2023(1), 7426793. <https://doi.org/10.1155/2023/7426793>
- Fikry, M., Tagrida, M., Mousa, E., Khojah, E., Aljumayi, H., Al-Ghamdi, S., Kadota, K., & Sarifudin, A. (2024). Modeling Mass Transfer Kinetics and Thermodynamic Properties of Ultrasonically Pretreated and Untreated Apple Slices During Air-Frying. *Journal of Food Process Engineering*, 47(10), e14745. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14745>
- Jin, W., Zhang, M., & Shi, W. (2019). Evaluation of ultrasound pretreatment and drying methods on selected quality attributes of bitter melon (*Momordica charantia* L.). *Drying Technology*, 37(3), 387–396. <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1458735>
- Karuppanapandian, T., Gerber, M., Viljoen, D. W., Botes, A., Moelich, E. I., Crouch, I. J., & Crouch, E. M. (2022). Assessment of sensory characteristics of ‘Granny Smith’ apples stored in various controlled atmosphere regimes by a trained panel. *Acta Horticulturae*, 1348, 285–290. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1348.39>
- Li, X., Gao, K., Bi, J., Wu, X., Lyu, J., & Guo, C. (2022). Hot air-assisted instant controlled pressure drop drying impact on the Maillard reaction-related physicochemical properties of apple slices. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(4), e16398. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16398>
- Mikus, M., & Galus, S. (2025). Extending the Shelf Life of Apples After Harvest Using Edible Coatings as Active Packaging—A Review. *Applied Sciences* 2025, Vol. 15, Page 767, 15(2), 767. <https://doi.org/10.3390/app15020767>
- Payet, B., Sing, A. S. C., & Smadja, J. (2005). Assessment of antioxidant activity of cane brown sugars by ABTS and DPPH radical scavenging assays: Determination of their polyphenolic and volatile constituents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(26), 10074–10079. <https://doi.org/10.1021/jf0517703>
- Riveros-Gomez, M., Baldán, Y., Román, M. C., Fabani, M. P., Mazza, G., & Rodríguez, R. (2022). Drying and rehydration kinetics of peeled and unpeeled green apple slices (Granny Smith cv). *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 57(10), 835–847. <https://doi.org/10.1080/03601234.2022.2126246>
- Sandoval-Ramírez, B. A., Catalán, Ú., Calderón-Pérez, L., Companys, J., Pla-Pagà, L., Ludwig, I. A., Romero, M. P., & Solà, R. (2020). The effects and associations of whole-apple intake on diverse cardiovascular risk factors. A narrative review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(22), 3862–3875. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1709801>
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144–158.
- Taghinezhad, E., Kaveh, M., Szumny, A., Figiel, A., & Blasco, J. (2023). Qualitative, energy and environmental aspects of microwave drying of pre-treated apple slices. *Scientific Reports* 2023 13:1, 13(1), 16152-. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-43358-6>
- Volk, G. M., & Bramel, P. (2021). *Apple Genetic Resources: Diversity and Conservation*. 33–45. https://doi.org/10.1007/978-3-030-74682-7_3
- Wu, B., Bouhile, Y., Guo, Y., Dai, J., Song, C., Cong, L., & Ma, H. (2025). Impact of apple slice thickness and water-soaking pretreatment on catalytic infrared blanching efficiency and subsequent hot air drying performance. *Drying Technology*, 43(5), 802–822. <https://doi.org/10.1080/07373937.2025.2470183>





Effect of Air Fryer Drying Temperature on the Quality Characteristics of Jerusalem Artichoke

Mehmet Yetişen^{1*}, Ümmügülsüm Kaplan¹, Cem Baltacıoğlu¹, Hasan Uslu¹

¹Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, Niğde, Türkiye

Abstract

This study aimed to determine the quality characteristics of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) under different drying methods and temperature conditions. For this purpose, Jerusalem artichokes obtained from a local market were sliced into approximately 2 mm thickness and 3 cm diameter and dried at 60, 70, and 80°C using an air fryer and a conventional oven (hot air drying). The drying process continued until the moisture content of the samples decreased below 10%, and the samples were coded as A60, A70, A80, E60, E70, and E80 according to the applied drying method and temperature. Color parameters (L*, a*, and b*), water activity, ash content, moisture, total phenolic content, and textural properties (hardness, brittleness/flexibility, and toughness) of dried samples were analyzed. The results indicated that drying method and temperature significantly affected the physicochemical, bioactive, and textural properties of Jerusalem artichoke samples. The highest L* value was observed in sample A80 dried at 80°C using an air fryer (88.36), whereas the highest total phenolic content was determined in sample E60 dried at 60°C in the hot air (5354 mg GAE/kg). Hot air drying samples generally exhibited lower moisture content and higher mechanical resistance, while air fryer-dried samples were characterized by higher brightness and lower hardness values. The findings suggest that different drying methods may provide advantages depending on product development objectives, and air fryer technology can be considered a feasible alternative method for drying Jerusalem artichoke.

Key Words: Jerusalem artichoke, air fryer, oven drying, total phenolic content, texture, color analysis

Yer Elmasının Air Fryer ile Farklı Sıcaklıklarda Kurutulmasının Kalite Özellikleri Üzerine Etkisi

Özet

Bu çalışmada, yer elmasının (*Helianthus tuberosus* L.) farklı kurutma yöntemleri ve sıcaklık koşulları altında kalite özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda yerel bir marketten temin edilen yer elmaları yaklaşık 2 mm kalınlığında ve 3 cm çapında dilimler halinde hazırlanmış, air fryer ve etüv (sıcak hava fırını) kullanılarak 60, 70 ve 80°C’de kurutulmuştur. Kurutma işlemi örneklerin nem içeriği %10’un altına düşene kadar sürdürülmüş ve örnekler A60, A70, A80, E60, E70 ve E80 olarak kodlanmıştır. Kurutulmuş örneklerde renk parametreleri (L*, a*, b*), su aktivitesi, kül, nem, toplam fenolik madde ve tekstürel özellikler (sertlik, kırılabilirlik ve dayanıklılık) analiz edilmiştir. Sonuçlar, kurutma yöntemi ve sıcaklığın yer elmasının fizikokimyasal, biyoaktif ve tekstürel özellikleri üzerinde önemli etkiler oluşturduğunu göstermiştir. En yüksek L* değeri air fryer ile 80°C’de kurutulan A80 örneğinde belirlenirken (88,36), en yüksek toplam fenolik madde miktarı etüvde 60°C’de kurutulan E60 örneğinde saptanmıştır (5354 mg GAE/kg). Etüv ile kurutulan örnekler genel olarak daha düşük nem içeriği ve daha yüksek mekanik dayanıklılık gösterirken, air fryer örnekleri daha yüksek parlaklık ve daha düşük sertlik değerleri ile öne çıkmıştır. Bulgular, ürün geliştirme hedeflerine bağlı olarak farklı kurutma yöntemlerinin avantaj sağlayabileceğini ve air fryer teknolojisinin yer elmasının kurutulmasında uygulanabilir alternatif bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Yer elması, air fryer, etüv kurutma, toplam fenolik madde, tekstür, renk analizi

Giriş

Yer elması (*Helianthus tuberosus* L.), Asteraceae (Compositae) familyasına ait, Kuzey Amerika kökenli ve dünya genelinde ticari değeri giderek artan çok yıllık bir bitkidir (Jahromi vd., 2022; Khuenpet vd., 2020; Rudy vd., 2025). Bu bitki, aşırı sıcaklık, kuraklık ve yüksek toprak tuzluluğu gibi olumsuz çevresel koşullara karşı gösterdiği yüksek tolerans ve düşük girdi gereksinimi nedeniyle marjinal tarım alanları için oldukça elverişli bir ürün olarak kabul edilmektedir (De Santis & Teresa Frangipane, 2018; Slimestad vd., 2010; Zhao vd., 2021). Besinsel açıdan yer elması, düşük kalorili ve düşük yağ içerikli bir gıda olmasına rağmen, diyet lifi ve mineraller (potasyum, kalsiyum, magnezyum, fosfor, demir ve çinko) açısından oldukça zengindir (Ahn vd., 2018; Shariati vd., 2021).





Yer elmasının en belirgin özelliği, toplam karbonhidrat içeriğinin %70 ile %90'ını oluşturan, fruktoz ünitelerinden meydana gelen ve prebiyotik özellikler gösteren inulin deposu olmasıdır (Khuenpet vd., 2017; Meyer & Blaauwhoed, 2009). Bu zengin kimyasal kompozisyon; yer elmasına antidiyabetik, anti-obezite, anti-enflamatuvar ve antioksidan gibi önemli fonksiyonel özellikler kazandırmakta; obezite, diyabet ve kardiyovasküler hastalıklarla mücadelede etkili bir gıda maddesi haline getirmektedir (Afoakwah, 2022; Li vd., 2022; Takur vd., 2020). Buna karşın, yer elması yumruları hasat sonrası %73-88 gibi oldukça yüksek nem içeriğine sahiptir ve bu durum ürünü mikrobiyolojik bozulmalara karşı hassas kılarak raf ömrünü kısıtlamaktadır (Chauhan vd., 2025). Ürünün stabilitesini artırmak, taşıma maliyetlerini düşürmek ve inulin gibi değerli bileşenlerini uzun süre korumak için kurutma işlemi elzem bir teknolojik basamaktır (Ramachandran vd., 2024; Santos vd., 2025; Zahoor vd., 2023).

Literatürde yaygın olarak kullanılan konvektif (sıcak hava) kurutma yöntemi, basit ve düşük maliyetli olmasına rağmen, uzun işlem süreleri ve yüksek sıcaklıklar nedeniyle termolabil bileşenlerin (inulin, fenolik maddeler ve vitaminler) bozunmasına, renk değişimlerine ve tekstürel deformasyonlara yol açabilmektedir (Rudy vd., 2025). Bu nedenle, kurutma süresini kısaltan ve kalite parametrelerini optimize eden modern kurutma teknolojilerinin etkinliği üzerine araştırmalar yoğunlaşmıştır (Alibas vd., 2020; Altay vd., 2019; Carrera vd., 2012; Song vd., 2011).

Son yıllarda mutfak teknolojilerinde yaygınlaşan ve hızlı sıcak hava sirkülasyonu prensibiyle çalışan air fryer (hava fritözü), geleneksel kurutma yöntemlerine göre daha hızlı ve homojen bir ısı transferi sağlama potansiyeline sahiptir. Kaynaklar, kurutma sıcaklığının (özellikle 60°C ve üzeri) yer elmasının inulin içeriği, toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan kapasitesi üzerinde belirleyici etkileri olduğunu göstermektedir (Elmuradov vd., 2025; Rudy vd., 2025).

Bu çalışma, yer elması dilimlerinin air fryer ve geleneksel etüv (sıcak hava fırını) yöntemleri kullanılarak üç farklı sıcaklıkta (60, 70 ve 80°C) kurutulmasının; ürünün nem içeriği, su aktivitesi, renk parametreleri, toplam fenolik madde miktarı ve tekstürel özellikleri (sertlik, kırılgenlik, dayanıklılık) üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak incelemeyi amaçlamaktadır. Elde edilen bulgular, air fryer teknolojisinin yer elmasının endüstriyel ve ev tipi kurutulmasında uygulanabilir alternatif bir yöntem olup olmadığını ortaya koyacaktır.

Materyal ve Metot

Materyal

Bu çalışmada kullanılan yer elma örnekleri, Türkiye'nin Niğde ilindeki yerel bir pazardan temin edilmiştir. Yer elması, deneysel işlemler öncesinde görsel olarak seçilmiş, herhangi bir fiziksel hasar veya çürüme belirtisi göstermeyen örnekler kullanılmıştır. Numuneler analiz öncesinde yıkanmış ve yüzey nemi uzaklaştırıldıktan sonra işleme alınmıştır.

Örnek Hazırlama ve Kurutma İşlemi

Yer elmaları, yaklaşık 3 mm kalınlığında ve 3 cm çapında dilimler halinde kesilmiştir. Hazırlanan elma dilimleri air fryer kurutma (Airfryer Combi 7000 Series XXL, Philips) (A) ve Etüv (sıcak hava fırını) kurutma (Isotex, Türkiye) (E) yöntemleri kullanılarak kurutulmuştur. Her iki kurutma yöntemi için de 60, 70 ve 80°C sıcaklıklar uygulanmıştır. Kurutma işlemi, örneklerin nem içeriği yaklaşık %10'un altına düşene kadar devam ettirilmiştir. Elde edilen örnekler, uygulanan yöntem ve sıcaklığa göre A60, A70, A80, E60, E70 ve E80 olarak kodlanmıştır.

Renk Analizi

Örneklerin renk parametreleri (L^* , a^* , b^*) bir renk ölçüm cihazı (Konica Minolta CR-400, Japan) kullanılarak belirlenmiştir. Ölçümler CIE Lab* renk sistemine göre gerçekleştirilmiştir.

Su Aktivitesi

Su aktivitesi değerleri, uygun bir su aktivitesi ölçüm cihazı (Novasina, Switzerland) kullanılarak belirlenmiştir.

Nem Tayini

Nem içeriği, standart gravimetrik yöntem kullanılarak belirlenmiş ve sonuçlar yüzde (%) olarak ifade edilmiştir.

Kül Tayini

Kül içeriği, numunelerin 600°C sıcaklıkta yakılması esasına dayanan standart yöntem ile analiz edilmiş ve yüzde (%) olarak hesaplanmıştır.





Toplam Fenolik Madde (TFM) Tayini

Toplam fenolik madde içeriği, Folin–Ciocalteu yöntemi kullanılarak belirlenmiştir (Singleton & Rossi, 1965). Fenolik bileşikler %80 metanol (%1 HCl) ile ekstrakte edildi, 40 rpm'de 4 saat boyunca çalkalandı ve 4 °C'de 4000×g'de 15 dakika boyunca santrifüjlendi. 100 µL ekstrakte 0,75 mL Folin reaktifi (%10) ve 0,75 mL Na₂CO₃ (75 g/L) ilave edildi. Karanlıkta 1 saat inkübe edildikten sonra, 725 nm'de absorbans okundu. Sonuçlar, kuru numune kilogramı başına mg galik asit eşdeğeri (GAE) olarak ifade edildi.

Örneklerin Tekstür Analizi

Yer elması örneklerinin tekstür analizi (TA.XT plus, Stable Micro System, Great Britain) için üç noktalı bükme düzeneği probu (HDP/3PB) kullanılmıştır. Tekstür analiz cihazı, analize başlamadan önce kalibre edilmiştir. Tekstür analizi öncesi test modu: sıkıştırma, ön test: hız 3 mm/sn, test hızı: 3 mm/sn, test sonrası hız 10 mm/sn, hedef modu: mesafe seçildi ve ardından ölçümlere başlandı. Hem air fryer hem de etüv kurutma sonucu elde edilen numuneler sertlik (g), kırılmalılık (mm) ve dayanıklılık (g/mm) parametreleri kapsamında değerlendirilmiştir.

İstatistiksel Analiz

Tüm analizler üç tekrürlü olarak gerçekleştirilmiş ve sonuçlar ortalama ± standart sapma şeklinde ifade edilmiştir. Verilerin istatistiksel değerlendirilmesinde Minitab® 21.4.1. (ABD) programı kullanılmıştır. Gruplar arasındaki farkların belirlenmesinde tek yönlü varyans analizi (ANOVA) uygulanmış ve anlamlı farklılıkların tespitinde Tukey çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır (p<0,05).

Sonuçlar ve Tartışma

Yer elması örneklerinin farklı kurutma yöntemleri (air fryer ve etüv) ile farklı sıcaklıklarda (60, 70 ve 80°C) kurutulması sonucunda elde edilen fizikokimyasal, biyoaktif ve tekstürel özellikler Tablo 1 ve Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 1. Örneklerin fizikokimyasal ve biyoaktif özellikleri

Örnek	L*	a*	b*	Su aktivitesi	Kül (%)	Nem (%)	TFM ¹ (mg GAE/kg)
A60	84,02±3,88 ^{ab}	-2,25±0,56 ^{bc}	13,83±2,09 ^c	0,35±0,01 ^a	6,53±0,20 ^a	9,50±0,26 ^a	2511±1135 ^c
A70	80,61±5,83 ^{ab}	-3,10±0,57 ^c	17,85±1,52 ^{bc}	0,27±0,01 ^c	7,67±0,88 ^a	7,69±0,71 ^{ab}	3226±222 ^{bc}
A80	88,36±3,82 ^a	-3,25±0,70 ^c	17,48±1,94 ^{bc}	0,24±0,01 ^d	7,51±0,85 ^a	6,62±1,36 ^b	4127±150 ^{ab}
E60	76,98±3,85 ^b	-0,75±0,75 ^b	20,94±1,22 ^{abc}	0,25±0,02 ^{cd}	6,82±1,02 ^a	3,93±0,78 ^c	5354±164 ^a
E70	77,14±3,37 ^b	-1,57±0,55 ^{bc}	23,06±4,41 ^{ab}	0,31±0,01 ^b	8,49±1,11 ^a	5,71±1,17 ^{bc}	3804±693 ^{bc}
E80	77,50±1,30 ^b	1,54±0,95 ^a	27,81±4,95 ^a	0,22±0,01 ^d	7,18±0,98 ^a	5,93±1,11 ^{bc}	2840±187 ^{bc}

¹TFM: Toplam fenolik madde. Aynı sütunda yer alan ve farklı harflerle (a-d) gösterilen örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlılık vardır (p<0,05).

Örneklerin renk parametreleri incelendiğinde, L* değerlerinin 76,98 ile 88,36 arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek L* değeri A80 örneğinde (88,36) saptanmış olup, bu durum air fryer ile 80°C'de gerçekleştirilen kurutmanın örneklerin daha açık renkli kalmasını sağladığını göstermektedir. Buna karşılık en düşük L* değeri E60 örneğinde (76,98) belirlenmiştir. Kurutma yöntemleri arasında özellikle air fryer uygulamalarının daha yüksek parlaklık değerleri sağlaması, kısa sürede nem uzaklaştırılması ve sınırlı oksidatif reaksiyonlarla ilişkilendirilebilir.

Benzer şekilde, hibrit kurutma ve ön işlem kombinasyonunun Jerusalem artichoke cipslerinin kalite özellikleri üzerine etkisinin incelendiği çalışmalarda, ön işlem uygulanmış örneklerde L* değerinin 79,82'ye kadar yükseldiği bildirilmiştir (Mu vd., 2025). Mevcut çalışmada A80 örneğinde daha yüksek L* değerinin elde edilmesi, air fryer uygulamasının renk korunumu açısından etkili olduğunu göstermektedir. Ancak ilgili çalışmalarda haşlama, NaCl ve maltodekstrin uygulamaları da kullanıldığından, doğrudan karşılaştırmalarda ön işlem etkisinin dikkate alınması gerekmektedir (Mu vd., 2025).

Yer elmasının a* değerleri diğer örnekler arasında anlamlı bulunmuştur (p<0,05). Air fryer ile kurutulan tüm örneklerde negatif a* değerleri elde edilmiş olup, örneklerin yeşilimsi tonlarını koruduğu görülmüştür. Etüvde 80°C'de kurutulan E80 örneği ise pozitif a* değeri (1,54) göstermiştir. Bu durum yüksek sıcaklıkta uzun süreli sıcak hava uygulamasının Maillard reaksiyonları ve pigment degradasyonunu artırarak kırmızımsı/kahverengimsi ton gelişimine neden olabileceğini düşündürmektedir.

Örneklerin b* değerleri incelendiğinde sıcaklık artışıyla birlikte özellikle etüv kurutma örneklerinde sarılık değerinin arttığı gözlenmiştir. En yüksek b* değeri E80 örneğinde (27,81) belirlenirken, en düşük değer A60 örneğinde (13,83) saptanmıştır. Bu sonuçlar, etüvde yüksek sıcaklık uygulamasının enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarını teşvik ettiğini göstermektedir.

Literatürde dondurarak kurutma, sıcak havada kurutma ve mikrodalga kurutma yöntemlerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada, sıcak havada kurutma uygulamasının en düşük parlaklık ile en yüksek sarılık ve esmerleşme





indeksine neden olduğu rapor edilmiştir (Hwang & Kim, 2024). Bu bulgu, mevcut çalışmada özellikle E80 örneğinde belirlenen yüksek b* değeri ile uyum göstermektedir ve sıcak hava kurutmanın yüksek sıcaklıklarda renk değişimlerini hızlandığını desteklemektedir. Ayrıca Jerusalem artichoke çayı üretimine yönelik bir çalışmada, kurutma sonrası uygulanan ilave ısıl işlemin süre uzadıkça parlaklığı azalttığı, kırmızılık, sarılık ve esmerleşme indekslerini artırdığı bildirilmiştir (Hwang & Shon, 2022). Bu sonuçlar, mevcut çalışmada sıcaklık artışıyla özellikle etüv örneklerinde gözlenen renk değişimleri ile paralellik göstermektedir.

Su aktivitesi değerleri tüm örneklerde 0,22–0,35 aralığında bulunmuştur. En yüksek su aktivitesi A60 örneğinde (0,35), en düşük ise E80 ve A80 örneklerinde sırasıyla 0,22 ve 0,24 olarak belirlenmiştir. Tüm örneklerin su aktivitesi değerlerinin mikrobiyal gelişimi sınırlandıracak düzeyde (<0,60) olması, başarılı kurutma işlemini göstermektedir.

Kül içerikleri bakımından örnekler arasında istatistiksel fark bulunmamıştır ($p>0,05$). Kül değerleri %6,53–8,49 arasında değişmiş olup, kurutma yöntem ve sıcaklıklarının mineral madde konsantrasyonu üzerinde belirgin etkisi olmadığı söylenebilir.

Nem içerikleri incelendiğinde, sıcaklık artışına bağlı olarak hem air fryer hem de etüv uygulamalarında nem oranının azaldığı görülmüştür. En yüksek nem içeriği A60 örneğinde (%9,50), en düşük ise E60 örneğinde (%3,93) belirlenmiştir. Etüv kurutmanın daha düşük nem seviyelerine ulaşması, daha uzun süreli ve kontrollü sıcak hava akışı ile açıklanabilir.

Jerusalem artichoke üzerinde gerçekleştirilen başka bir çalışmada, konvektif kurutmanın 60°C’de uygulanmasının kalite korunumu açısından optimum koşul olduğu ve ürünün %12,6 nem içeriğine sahip olduğu bildirilmiştir (Elmuradov vd., 2025). Bu sonuç, mevcut çalışmada özellikle 60°C uygulamalarında kalite parametrelerinin öne çıkmasıyla paralellik göstermektedir.

Toplam fenolik madde (TFM) sonuçlarına göre örnekler arasında önemli farklılıklar belirlenmiştir ($p<0,05$). En yüksek TFM değeri E60 örneğinde (5354 mg GAE/kg), en düşük değer ise A60 örneğinde (2511 mg GAE/kg) saptanmıştır. Düşük sıcaklıkta etüv kurutmanın fenolik bileşiklerin korunmasında daha avantajlı olduğu görülmektedir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte özellikle E80 örneğinde TFM miktarının azaldığı belirlenmiştir. Bu durum fenolik bileşiklerin ısıya duyarlı yapıları nedeniyle yüksek sıcaklıklarda degradasyona uğraması ile ilişkilendirilebilir.

Benzer şekilde konvektif kurutma ve konvektif–mikrodalga kurutma yöntemlerini karşılaştıran bir çalışmada, 80°C’de gerçekleştirilen kurutmalarda daha belirgin renk değişimi ve önemli polifenol kayıpları gözlenirken, düşük sıcaklıklarda polifenol korunumu daha yüksek bulunmuştur (Rudy vd., 2025). Bu durum mevcut çalışmada E60 örneğinin E70 ve E80’e göre daha yüksek toplam fenolik madde içermesiyle uyumludur.

Düşük sıcaklıkların fenolik bileşiklerin korunmasındaki avantajı başka bir çalışmada da bildirilmiştir. Dondurularak kurutulan Jerusalem artichoke tozlarında fenolik bileşiklerin havada kurutulmuş örneklerle kıyasla iki kat daha yüksek düzeyde korunduğu belirtilmiştir (Diez vd., 2025). Araştırmacılar bu sonucu düşük işlem sıcaklıklarının fenolik degradasyonu sınırlandırmasına bağlamıştır (Diez vd., 2025). Bu bulgu, mevcut çalışmada düşük sıcaklıkta kurutulan E60 örneğinin en yüksek toplam fenolik madde içeriğine sahip olmasıyla desteklenmektedir.

Benzer şekilde dondurarak kurutma öncesi farklı kaplama materyallerinin uygulandığı bir çalışmada, sitrik asit ve karboksimetilselüloz uygulamalarının polifenol retansiyonunu artırdığı ve biyolojik aktif bileşik kayıplarını azalttığı bildirilmiştir (Wrzodak vd., 2026). Bu sonuç, kurutma öncesi uygulamaların ve düşük sıcaklıklı proseslerin Jerusalem artichoke örneklerinde biyoaktif bileşik korunumu açısından önemli olduğunu göstermiştir.

Tablo 2. Örneklerin tekstür özellikleri

Örnekler	Sertlik (g)	Kırılgenlik (mm)	Dayanıklılık (g/mm)
A60	424±103 ^a	2,42±1,05 ^a	208±123 ^c
A70	483±224 ^a	1,33±0,81 ^{ab}	572±580 ^{bc}
A80	456±167 ^a	0,76±0,16 ^b	598±220 ^{bc}
E60	1047±600 ^a	0,65±0,16 ^b	1563±650 ^a
E70	591±338 ^a	1,12±1,07 ^b	671±356 ^{abc}
E80	790±615 ^a	0,53±0,20 ^b	1337±847 ^{ab}

Aynı sütunda yer alan ve farklı harflerle (a-c) gösterilen örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlılık vardır ($p<0,05$).

Tekstürel analiz sonuçlarına göre sertlik değerleri 424–1047 g arasında değişmiştir. En yüksek sertlik E60 örneğinde, en düşük ise A60 örneğinde belirlenmiştir. Her ne kadar istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmasa da ($p>0,05$), etüv kurutulan örneklerin genel olarak daha yüksek sertlik değerleri gösterdiği dikkat çekmektedir. Bu durum sıcak hava kurutma sırasında daha yoğun yapı oluşumu ve hücre büzülmesi ile açıklanabilir.

Hibrit kurutma yönteminin incelendiği çalışmalarda sertlik değerinin 1240 g düzeyine ulaştığı bildirilmiştir (Mu vd., 2025). Mevcut çalışmada etüv ile kurutulan örneklerin daha yüksek sertlik göstermesi, sıcak hava bazlı kurutma yöntemlerinin daha kompakt yapı oluşturduğunu desteklemektedir.





Jerusalem artichoke üzerinde gerçekleştirilen termal işlem çalışmasında da işlem süresi arttıkça sertlik ve çiğnenebilirlik değerlerinin azaldığı, buna karşılık yapısal bütünlükte değişimler meydana geldiği bildirilmiştir (Blicharz-Kania vd., 2017). Isıl işlem koşullarının tekstür üzerinde belirleyici etkisi, mevcut çalışmada farklı kurutma yöntemleri arasında gözlenen sertlik ve dayanıklılık farklılıkları ile uyumludur.

Kırılabilirlik değerleri açısından A60 örneği 2,42 mm ile en yüksek değere sahipken, E80 örneği 0,53 mm ile en düşük değeri göstermiştir. Air fryer ile düşük sıcaklıkta kurutulan örneklerin daha esnek ve kırılmaya karşı daha dirençli yapı sergilediği söylenebilir.

Dayanıklılık değerleri incelendiğinde en yüksek değer E60 örneğinde (1563 g/mm), en düşük ise A60 örneğinde (208 g/mm) belirlenmiştir ve örnekler arasında anlamlı farklılık saptanmıştır ($p < 0,05$). Etüv kurutma ile elde edilen örneklerin daha kompakt ve yoğun tekstürel yapı geliştirdiği görülmektedir.

Jerusalem artichoke tozunun kraker formülasyonlarında kullanımını inceleyen bir çalışmada, ürünlerin TFM ve antioksidan kapasitesinin arttığı, buna karşın renk parametrelerinde özellikle L^* değerinde azalma gözlemlendiği bildirilmiştir (Ozgoren vd., 2019). Bu durum, Jerusalem artichoke bileşenlerinin işleme koşullarına bağlı olarak hem fonksiyonel özellikleri hem de renk parametrelerini etkileyebildiğini göstermiştir.

Sonuç

Bu çalışmada yer elmasının farklı kurutma yöntemleri (air fryer ve etüv) ile farklı sıcaklıklarda kurutulmasının ürün kalitesi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Sonuçlar, kurutma yöntemi ve sıcaklığın yer elmasının renk, nem, toplam fenolik madde ve tekstürel özellikleri üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymuştur. Air fryer ile kurutulan örnekler daha yüksek L^* değerleri ve daha düşük sertlik göstermiş, bu durum ürünün daha açık renkli ve daha az sert bir yapı kazanmasını sağlamıştır. Buna karşılık etüv ile kurutulan örneklerde daha düşük nem içeriği, daha yüksek toplam fenolik madde miktarı ve daha yüksek mekanik dayanıklılık belirlenmiştir. Özellikle E60 örneği fenolik bileşiklerin korunumu açısından en uygun sonuçları verirken, A80 örneği renk korunumu bakımından öne çıkmıştır. Genel olarak değerlendirildiğinde, düşük sıcaklık uygulamalarının fenolik bileşiklerin korunumu açısından avantaj sağladığı, yüksek sıcaklık uygulamalarının ise renk değişimleri ve yapısal farklılıkları artırdığı görülmüştür. Air fryer teknolojisi, daha kısa işlem süresi, renk korunumu ve kabul edilebilir tekstürel özellikler sağlaması nedeniyle yer elmasının kurutulmasında alternatif bir yöntem olarak değerlendirilebilir. Elde edilen sonuçların yer elmasının fonksiyonel atıştırılabilir veya kurutulmuş gıda ürünleri geliştirilmesinde kullanılabilecek uygun proses koşullarının belirlenmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Referanslar

- Afoakwah, N. A. (2022). Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) dietary-fiber powder functionality. *Heliyon*, 8(12).
- Ahn, H. Y., Kim, M., Seo, C. R., Yoo, H. J., Lee, S. H., & Lee, J. H. (2018). The effects of Jerusalem artichoke and fermented soybean powder mixture supplementation on blood glucose and oxidative stress in subjects with prediabetes or newly diagnosed type 2 diabetes. *Nutrition & Diabetes* 2018 8:1, 8(1), 42-. <https://doi.org/10.1038/s41387-018-0052-y>
- Alibas, I., Zia, M. P., Yilmaz, A., & Asik, B. B. (2020). Drying kinetics and quality characteristics of green apple peel (*Mallus communis* L. var. "Granny Smith") used in herbal tea production. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(2), e14332. <https://doi.org/10.1111/JFPP.14332>
- Altay, K., Hayaloglu, A. A., & Dirim, S. N. (2019). Determination of the drying kinetics and energy efficiency of purple basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves using different drying methods. *Heat and Mass Transfer* 2019 55:8, 55(8), 2173–2184. <https://doi.org/10.1007/S00231-019-02570-9>
- Blicharz-Kania, A., Andrejko, D., Kubik-Komar, A., Ślaska-Grzywna, B., & Starek, A. (2017). Modification of the textural properties of Jerusalem Artichoke tubers using different thermal treatments. *ECONTECHMOD: An International Quarterly Journal on Economics of Technology and Modelling Processes*, Vol. 6, No 4(4), 41–45.
- Carrera, C., Ruiz-Rodríguez, A., Palma, M., & Barroso, C. G. (2012). Ultrasound assisted extraction of phenolic compounds from grapes. *Analytica Chimica Acta*, 732, 100–104. <https://doi.org/10.1016/J.ACA.2011.11.032>
- Chauhan, D. S., Vashisht, P., Bebartta, R. P., Thakur, D., & Chaudhary, V. (2025). Jerusalem artichoke: A comprehensive review of nutritional composition, health benefits and emerging trends in food applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 24(1), e70114. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70114>;ISSUE:ISSUE:DOI
- De Santis, D., & Teresa Frangipane, M. (2018). Evaluation of chemical composition and sensory profile in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L) tubers: The effect of clones and cooking conditions. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 11, 25–30. <https://doi.org/10.1016/J.IJGFS.2017.11.001>
- Diez, S., Tarifa, M. C., Salvatori, D. M., & Franceschinis, L. (2025). Functional Ingredients Based on Jerusalem Artichoke: Technological Properties, Antioxidant Activity, and Prebiotic Capacity. *Biology and Life Sciences Forum 2024*, Vol. 40, 40(1), 24. <https://doi.org/10.3390/BLSF2024040024>
- Elmuradov, A. A., Jamoliddinova, V. J., & Davronova, F. P. (2025). Biochemical composition of Jerusalem artichoke tubers dried at different temperatures and in different forms. *BIO Web of Conferences*, 181, 01039. <https://doi.org/10.1051/BIOCONF/202518101039>
- Hwang, E. S., & Kim, S. (2024). Quality Characteristics, Antioxidant Activity, and Acrylamide Content of Jerusalem Artichokes according to the Drying Method Used. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 53(8), 824–831. <https://doi.org/10.3746/JKFN.2024.53.8.824>





- Hwang, E. S., & Shon, E. M. (2022). Effect of heating time on the quality and antioxidant activity of Jerusalem artichoke tea. *Food Science and Preservation*, 29(6), 989–999. <https://doi.org/10.11002/KJFP.2022.29.6.989>
- Jahromi, M. S. B., Iranmanesh, M., & Akhijahani, H. S. (2022). Thermo-economic analysis of solar drying of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) integrated with evacuated tube solar collector and phase change material. *Journal of Energy Storage*, 52, 104688. <https://doi.org/10.1016/J.EST.2022.104688>
- Khuenpet, K., Jittanit, W., Sirisansaneeyakul, S., & Srichamnon, W. (2017). Inulin Powder Production from Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) Tuber Powder and Its Application to Commercial Food Products. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(4), e13097. <https://doi.org/10.1111/JFPP.13097>
- Khuenpet, K., Truong, N. D. P., Polpued, R., Ward, L. T., District, T. D., Chi, H., City, M., Khuenpet, V., Truong, K., & Polpued, N. D. P. (2020). Inulin extraction from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tuber powder and its application to yoghurt snack. *International Journal of Agricultural Technology*, 16(2), 271–282. <https://li04.tci-thaijo.org/index.php/IJAT/article/view/6508>
- Li, J., Jia, S., Yuan, C., Yu, B., Zhang, Z., Zhao, M., Liu, P., Li, X., & Cui, B. (2022). Jerusalem artichoke inulin supplementation ameliorates hepatic lipid metabolism in type 2 diabetes mellitus mice by modulating the gut microbiota and fecal metabolome. *Food & Function*, 13(22), 11503–11517.
- Meyer, D., & Blaauwhoed, J. P. (2009). Inulin. *Handbook of Hydrocolloids: Second Edition*, 829–848. <https://doi.org/10.1533/9781845695873.829>
- Mu, Y., Gao, W., Lv, S., Zhu, T., & Zhao, C. (2025). Enhanced quality and optimized volatile profile of Jerusalem artichoke chips: A combined approach of pretreatment optimization and hybrid vacuum freeze-hot air drying. *Journal of Agriculture and Food Research*, 22, 102121. <https://doi.org/10.1016/J.JAFR.2025.102121>
- Ozgoren, E., Isik, F., & Yapar, A. (2019). Effect of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) supplementation on chemical and nutritional properties of crackers. *Journal of Food Measurement and Characterization* 2019 13:4, 13(4), 2812–2821. <https://doi.org/10.1007/S11694-019-00201-9>
- Ramachandran, R. P., Nadimi, M., Cenkowski, S., & Paliwal, J. (2024). Advancement and Innovations in Drying of Biopharmaceuticals, Nutraceuticals, and Functional Foods. *Food Engineering Reviews* 2024 16:4, 16(4), 540–566. <https://doi.org/10.1007/S12393-024-09381-7>
- Rudy, S., Dziki, D., Biernacka, B., Polak, R., Krzykowski, A., Domin, M., Rudzki, G., & Kachel-Górecka, M. (2025). Drying Kinetics and Physicochemical Characteristics of Dehydrated Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). *Processes* 2025, Vol. 13, 13(8). <https://doi.org/10.3390/PR13082553>
- Santos, A. A. de L., Leal, G. F., Marques, M. R., Reis, L. C. C., Junqueira, J. R. de J., Macedo, L. L., & Corrêa, J. L. G. (2025). Emerging Drying Technologies and Their Impact on Bioactive Compounds: A Systematic and Bibliometric Review. *Applied Sciences* 2025, Vol. 15, 15(12). <https://doi.org/10.3390/APP15126653>
- Shariati, M. A., Khan, M. U., Hleba, L., de Souza, C. K., Tokhtarov, Z., Terentev, S., Konovalov, S., Arduvanova, F., Batishcheva, N., Shigapov, I., Ekaterina, S., & Kantimerova, M. (2021). Topinambur (The Jerusalem Artichoke): Nutritional Value and Its Application In Food Products: An Updated Treatise. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 10(6), e4737–e4737. <https://doi.org/10.15414/JMBFS.4737>
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144–158.
- Slimestad, R., Seljaasen, R., Meijer, K., & Skar, S. L. (2010). Norwegian-grown Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): Morphology and content of sugars and fructo-oligosaccharides in stems and tubers. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(6), 956–964. <https://doi.org/10.1002/JSFA.3903>
- Song, J., Li, D., Liu, C., & Zhang, Y. (2011). Optimized microwave-assisted extraction of total phenolics (TP) from Ipomoea batatas leaves and its antioxidant activity. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 12(3), 282–287. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2011.03.001>
- Takur, S., Khan, A. A., & Azmi, W. (2020). Potential of oligosaccharides from inulin in human nutrition and health. *Ann. Phytomedicine*, 9, 141–146.
- Wrzodak, A., Szwejd-Grzybowska, J., Ropelewska, E., Dickinson, N. J., Zdulski, J. A., Sekrecka, M., Husieva, A. S., Skwiercz, A., & Mieszczakowska-Frąć, M. (2026). Impact of Protein- and Polysaccharide-Based Edible Coatings and Citric Acid as a Natural Antioxidant on the Quality Parameters, and Image Analysis, of Freeze-Dried Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*). *Applied Sciences* 2026, Vol. 16, 16(4). <https://doi.org/10.3390/APP16041951>
- Zahoor, I., Mir, T. A., Ayoub, W. S., Farooq, S., & Ganaie, T. A. (2023). Recent applications of microwave technology as novel drying of food – Review. *Food and Humanity*, 1, 92–103. <https://doi.org/10.1016/J.FOOHUM.2023.05.001>
- Zhao, M., Ren, Y., Wei, W., Yang, J., Zhong, Q., & Li, Z. (2021). Metabolite Analysis of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) Seedlings in Response to Polyethylene Glycol-Simulated Drought Stress. *International Journal of Molecular Sciences* 2021, Vol. 22, 22(7). <https://doi.org/10.3390/IJMS22073294>





Potential Utilization of Red Beet Processing By-Products in the Food Industry

Ümmügülsüm Kaplan¹, Mehmet Yetişen^{1*}

¹ Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, Niğde, Türkiye

Abstract

Red beet processing generates by-products such as peels, pomace, and leaves, which are generally considered waste materials. However, these by-products are rich in dietary fiber, phenolic compounds, betalains, and minerals. Therefore, red beet by-products have significant potential for the food industry in terms of sustainable production and the development of value-added products. In this study, the functional composition, technological properties, and potential food applications of red beet by-products were evaluated based on available literature findings. Dried red beet peel and pomace powders were reported to be rich in total phenolic compounds, antioxidant capacity, color compounds, and dietary fiber. Due to their high betalain content, these by-products can be considered promising natural colorants and antioxidant sources. Previous studies have shown that the incorporation of red beet by-products into bread, pasta, biscuits, crackers, yogurt, and meat products improves their nutritional value and functional properties. In addition, the use of red beet by-products may enhance antioxidant activity, redness, and dietary fiber content in food products. However, high incorporation levels may negatively affect textural properties and consumer acceptance. In conclusion, available literature indicates that red beet by-products are valuable ingredients that can be used as natural colorants, antioxidants, and fiber sources in the food industry. The reutilization of these by-products may contribute to environmental sustainability and support the development of high-value functional food products.

Key Words: Red beet by-products, betalain, natural colorant, antioxidant, dietary fiber, functional food

Kırmızı Pancar Atıklarının Gıda Sanayisinde Değerlendirilme Potansiyeli

Özet

Kırmızı pancar işleme sırasında ortaya çıkan kabuk, posa ve yaprak gibi yan ürünler genellikle atık olarak değerlendirilmekte, ancak bu materyaller yüksek miktarda diyet lifi, fenolik bileşikler, betalainler ve mineral maddeler içermektedir. Bu nedenle kırmızı pancar atıkları, sürdürülebilir üretim ve katma değerli ürün geliştirme açısından gıda sanayisi için önemli bir potansiyele sahiptir. Bu çalışmada, kırmızı pancar atıklarının fonksiyonel bileşen içeriği, teknolojik özellikleri ve farklı gıda uygulamalarındaki kullanım olanakları mevcut literatür bulguları doğrultusunda değerlendirilmiştir. Kırmızı pancar kabuğu ve posasının kurutularak toz forma dönüştürülmesiyle elde edilen ürünlerin toplam fenolik madde, antioksidan kapasite, renk özellikleri ve diyet lifi açısından zengin olduğu belirlenmiştir. Özellikle betalain içeriğinin yüksek olması nedeniyle bu yan ürünlerin doğal renklendirici ve antioksidan kaynak olarak kullanılabileceği öngörülmüştür. Literatürde yer alan çalışmalar, kırmızı pancar atıklarının ekmek, makarna, bisküvi, kraker, yoğurt ve et ürünleri gibi farklı gıda formülasyonlarında kullanımının ürünlerin besinsel değerini artırdığını ve fonksiyonel özelliklerini geliştirdiğini göstermektedir. Ayrıca kırmızı pancar atıklarının ilavesi ile ürünlerde daha yüksek antioksidan aktivite, daha yoğun kırmızı renk ve daha yüksek lif içeriği elde edilebilmektedir. Bununla birlikte yüksek kullanım oranlarında ürünlerin tekstürel özellikleri ve tüketici kabulü üzerinde olumsuz etkiler oluşabileceği belirtilmiştir. Sonuç olarak, literatür bulguları kırmızı pancar atıklarının gıda sanayisinde doğal renklendirici, antioksidan ve lif kaynağı olarak değerlendirilebilecek önemli yan ürünler olduğunu göstermektedir. Bu atıkların yeniden kullanımı hem çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlayacak hem de katma değeri yüksek fonksiyonel gıda ürünlerinin geliştirilmesine olanak tanıyacaktır.

Anahtar Kelimeler: Kırmızı pancar atıkları, betalain, doğal renklendirici, antioksidan, diyet lifi, fonksiyonel gıda





Gluten-free lentil crackers: Technological and sensory characteristics

Elif Yaver

Konya Technical University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Food Processing, Selçuklu, Konya, Türkiye.

Abstract

Lentils (*Lens culinaris* Medik.), including red-, green-, and black-colored varieties, are one of the most commonly consumed pulses. They are characterized by their great quantity of proteins, fibers, folic acid, minerals, and phenolics. To enhance the nutritional quality of gluten-free crackers, lentils are a functional and inexpensive option. This study examined the impacts of different colored lentil varieties on the technological (color, diameter, thickness, spread ratio, and puffiness) and sensory (color, taste, odor, appearance, crispness, and overall liking) quality of gluten-free crackers. Results showed that the color profile of gluten-free crackers was affected by lentil varieties. The highest L^* and hue values were obtained in the control crackers, while the highest b^* and SI values were observed in crackers made with red lentil. Lentil crackers elicited a greater diameter than the control. However, the use of lentil varieties did not change the thickness values of crackers compared to the control. The spread ratio value of black lentil crackers was lower than that of red and green lentil crackers. Compared to other lentil varieties, the use of black lentils resulted in the greatest puffiness in crackers. Regarding sensory evaluation, gluten-free crackers prepared from green and black lentils revealed comparable color, taste, odor, appearance, crispness, and overall liking scores to the control. The data obtained in this study illustrated that lentils, especially green- and black-colored varieties, can be promising ingredients for gluten-free products.

Key Words: Lentils, Gluten-free, Crackers, Functional foods, Technological quality

Introduction

Lentils (*Lens culinaris* Medik.) are one of the leguminous crops, which are cultivated in different regions of the world, from Asia to Africa. Canada (44%) is the greatest producer of lentils, followed by India (18%), Australia (8%), and Türkiye (Kaale et al., 2023). Lentils are known as a protein-rich crop, align with their high fiber, mineral (especially Fe), vitamin (B-complex), and phytochemical contents. The seed coat color of lentils varies from yellow to black, which is associated with their secondary metabolite content, such as polyphenols (Jackson et al., 2021). A nutrient-dense profile of lentils can provide advantages in improving human health by reducing the risks of cardiovascular diseases, cancer, obesity, hypertension, and diabetes (Faris et al., 2013; Zhang et al., 2018; Dhull et al., 2023).

Compared to their traditional counterparts, gluten-free foods are characterized by their lower protein, fiber, vitamin, mineral, and polyphenol content. Hence, nutritional deficiencies in available gluten-free foods should be compensated for with nutritive ingredients like lentils (Di Cairano et al., 2018). According to Hajas et al. (2022), lentil flour can improve the nutritional quality and antioxidant activity of gluten-free cookies without a detrimental impact on the sensory properties. Bisson et al. (2025) also stated that incorporating a legume blend containing lentil flour increased protein and resistant starch content of gluten-free snacks with comparable textural quality.

To the best of my knowledge, this is the first report on the inclusion (100%) of three different colored lentil varieties into gluten-free cracker formulation. Therefore, this study aims to develop gluten-free cracker formulations with red, green, and black lentils, and to characterize and compare their technological and sensory properties.

Materials and Methods

Materials

Red lentil, green lentil, black lentil, corn starch, rice flour, shortening, salt, sugar, baking powder, and yeast were procured from a store in Konya, Türkiye. Xanthan gum was supplied from Smart Kimya (İzmir, Türkiye).

Methods

Control gluten-free cracker samples were produced using 200 g gluten-free flour (corn starch:rice flour, 100:100, w/w), 40 g shortening, 3.2 g salt, 3 g sugar, 3 g baking powder, 2 g xanthan gum, 2 g yeast, and water. After kneading for 5 min, the dough was fermented at 35 °C for 2 h. Following that, the sheeted and shaped dough was baked (Kumtel, Kayseri, Türkiye) at 175 °C for 7 min. In lentil crackers, gluten-free flour was fully replaced with red/green/black lentil flour.





Color L^* , a^* , and b^* values were determined via a PCE-CSM 2 colorimeter (Meschede, Germany), calibrating with a white tile. $(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$ equation was used to determine the saturation index (SI) values. Hue angle was calculated using a^* and b^* values [$\arctan(b^*/a^*)$].

The AACC method 10-54 was used to determine the diameter and thickness values of gluten-free crackers (AACC, 2010). Following this, the spread ratio was obtained by taking the quotient of the diameter and the thickness. Puffiness was measured using the following equation:

$$\text{Puffiness} = [(\text{Thickness after baking} - \text{Thickness before baking}) / \text{Thickness before baking}] * 100 \quad (1)$$

A group of nine panelists used a nine-point scale (1=dislike extremely, 9=like extremely) to assess sensory characteristics such as color, taste, odor, appearance, crispness, and overall liking for gluten-free cracker samples. Each cracker was assigned a distinct code composed of three randomly generated numerical digits.

Statistical Analysis

The one-way analysis of variance (ANOVA) was carried out to determine significant differences ($p < 0.05$) using the Tukey HSD test. The mean values were presented with standard deviation.

Results and Discussion

Color influences consumer perception and acceptance of food products (Millar et al., 2017). Color values of cracker samples are reported in Table 1. The highest L^* and hue values were observed in the control gluten-free crackers. The use of lentil flours in cracker formulations reduced L^* and hue values of gluten-free crackers compared to the control, probably due to the natural colors of lentil flours. Gluten-free crackers made with red lentils had the greatest a^* , b^* , and SI values. The changes in color values could be attributed to natural colors of lentils and Maillard reactions as a result of increasing free amino acids with the addition of lentils (Monnet et al., 2019; Bisson et al., 2025). Similar results were also found for gluten-free green and red lentil crackers by Han et al. (2010).

Table 1. Color values of gluten-free lentil crackers.

Crackers	L^*	a^*	b^*	SI	Hue
Control	77.88±0.56 ^a	1.71±0.24 ^d	20.72±0.37 ^c	20.79±0.39 ^c	85.29±0.46 ^a
Red lentil	63.26±0.47 ^b	29.70±0.38 ^a	42.26±0.59 ^a	51.65±0.60 ^a	54.91±0.58 ^d
Green lentil	58.93±0.68 ^c	9.37±0.30 ^b	31.73±0.56 ^b	33.09±0.55 ^b	73.55±0.44 ^b
Black lentil	39.78±0.44 ^d	6.62±0.36 ^c	14.67±0.59 ^d	16.10±0.36 ^d	65.73±0.36 ^c

The significant ($p < 0.05$) variations between means are indicated by distinct letters in every column.

The diameter values of gluten-free crackers ranged from 46.84 mm to 50.91 mm (Table 2). Lentil crackers showed a greater diameter than the control crackers. This may be attributed to a reduction in starch content and an increase in protein content as a result of lentil addition (Esen et al., 2025). Thickness values of crackers changed between 1.38 mm and 1.81 mm, but the changes in thickness values were found to be statistically insignificant ($p > 0.05$) (Table 2).

Table 2. Technological characteristics of gluten-free lentil crackers.

Crackers	Diameter (mm)	Thickness (mm)	Spread ratio	Puffiness (%)
Control	46.84±0.47 ^b	1.38±0.25 ^a	33.94±0.27 ^a	15.00±0.28 ^d
Red lentil	50.55±0.44 ^a	1.49±0.30 ^a	33.93±0.32 ^a	24.17±0.33 ^c
Green lentil	50.91±0.54 ^a	1.64±0.27 ^a	31.04±0.29 ^b	36.67±0.26 ^b
Black lentil	50.53±0.41 ^a	1.81±0.31 ^a	27.92±0.34 ^c	50.83±0.29 ^a

The significant ($p < 0.05$) variations between means are indicated by distinct letters in every column.

As shown in Table 2, the spread ratio of red lentil crackers was similar to that of the control crackers. However, the use of green or black lentils reduced the spread ratio of crackers. The decrease may be due to the higher dietary fiber contents of green and black lentils (Göncü and Çelik, 2020). The lowest puffiness was obtained in the control, while black lentil crackers showed the greatest puffiness (Table 2). The change in cracker composition due to the use of protein- and fiber-rich lentils may be responsible for these results (Bisson et al., 2025).

Sensory evaluation of gluten-free crackers is illustrated in Figure 1. Color scores of crackers formulated with green and black lentils were close to the control. The use of red lentils reduced the color scores of crackers compared to the control.



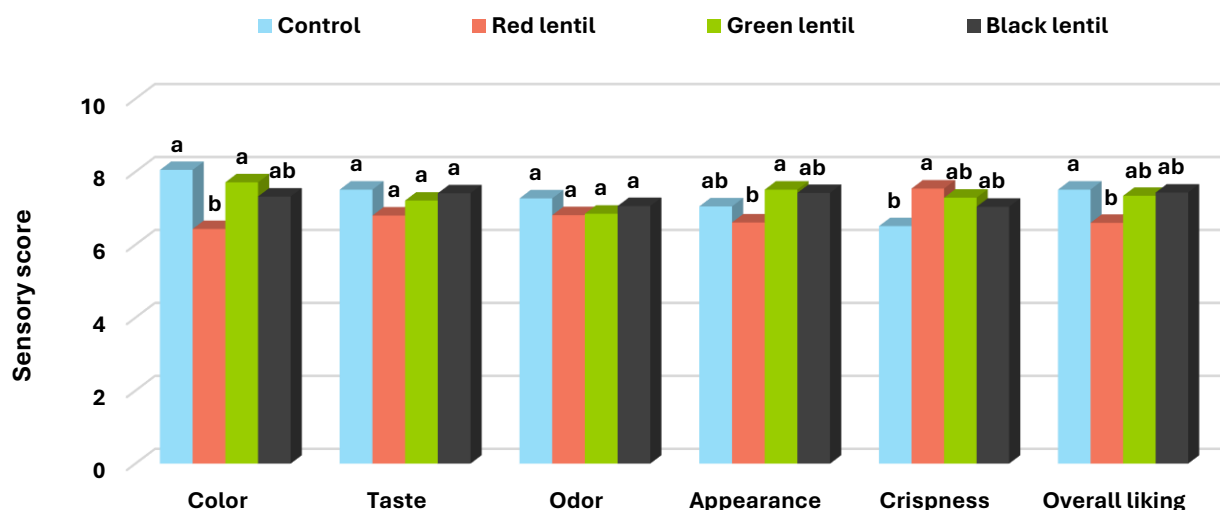


Figure 1. Sensory characteristics of gluten-free lentil crackers.

Lentil type did not show a considerable impact on the taste and odor scores of gluten-free crackers. In terms of the appearance parameter, all lentil varieties elicited similar scores to the control. Furthermore, the crispness score of red lentil crackers was higher than that of the control. Regarding the overall liking parameter, red lentil slightly reduced the score of crackers, but green and black lentils showed similar scores to the control.

Conclusion

The data obtained in the current study revealed that different colored lentils (especially green and black) had a good potential as a functional ingredient in gluten-free crackers. Lentil crackers showed lower L^* and higher a^* values than those of the control crackers. Lentil varieties did not demonstrate a notable impact on the diameter and thickness of crackers. However, the use of green and black lentil flours reduced the spread ratio of crackers compared to the control and red lentil crackers. All lentil crackers had higher puffiness values than the control. Regarding the sensory perspective, crackers formulated with green and black lentils had comparable scores to the control. Further research should be focused on the nutritional and anti-nutritional characteristics of lentil crackers.

Declarations

Author Contribution Statement

Elif Yaver: Data collection, investigation, formal analysis, conceptualization, methodology, writing the original draft, review and editing.

Conflict of Interest

The author declares no conflict of interest.

References

- AACC. (2010). Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, (11th Ed.). St. Paul, MN, USA: AACC.
- Bisson, G., Baggio, A., Rossi, I., Cutroneo, S., Tagliasco, M., Tedeschi, T., Dall'Asta, M., Vittadini, E., & Pellegrini, N. (2025). Development of gluten-containing and gluten-free crackers based on cereal and legume flours: physicochemical, nutritional, and sensory characteristics. *Applied Food Research*, 101403. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101403>
- Dhull, S. B., Kinabo, J., & Uebersax, M. A. (2023). Nutrient profile and effect of processing methods on the composition and functional properties of lentils (*Lens culinaris* Medik): A review. *Legume Science*, 5(1), e156. <https://doi.org/10.1002/leg3.156>
- Di Cairano, M., Galgano, F., Tolve, R., Caruso, M. C., & Condelli, N. (2018). Focus on gluten free biscuits: Ingredients and issues. *Trends in Food Science & Technology*, 81, 203-212. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.09.006>





- Esen, B. O., Bozdogan, N., Kutlar, L. M., & Kumcuoglu, S. (2025). Development of Gluten-Free Extruded Snack Containing Lentil Flour and Evaluation of Extrusion Process Conditions on Quality Properties. *Food Science & Nutrition*, 13(8), e70663. <https://doi.org/10.1002/fsn3.70663>
- Faris, M. E. A. I. E., Takruri, H. R., & Issa, A. Y. (2012). Role of lentils (*Lens culinaris* L.) in human health and nutrition: A review. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 6(1), 3-16. <https://doi.org/10.3233/s12349-012-0109>
- Göncü, A., & Çelik, İ. (2020). Investigation of some properties of gluten-free tarhanas produced by red, green and yellow lentil whole flour. *Food Science and Technology*, 40, 574-581. <https://doi.org/10.1590/fst.34919>
- Hajas, L., Sipos, L., Csobod, E. C., Balint, M. V., Juhasz, R., & Benedek, C. (2022). Lentil (*Lens culinaris* Medik.) flour varieties as promising new ingredients for gluten-free cookies. *Foods*, 11(14), 2028. <https://doi.org/10.3390/foods11142028>
- Han, J. J., Janz, J. A., & Gerlat, M. (2010). Development of gluten-free cracker snacks using pulse flours and fractions. *Food Research International*, 43(2), 627-633. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.015>
- Jackson, N., Noble, S. D., & Vandenberg, A. (2021). Evaluating the effect of light exposure and seed coat on lentil cotyledon color by computer vision. *Legume Science*, 3(4), e98. <https://doi.org/10.1002/leg3.98>
- Kaale, L. D., Siddiq, M., & Hooper, S. (2023). Lentil (*Lens culinaris* Medik) as nutrient-rich and versatile food legume: A review. *Legume Science*, 5(2), e169. <https://doi.org/10.1002/leg3.169>
- Millar, K. A., Barry-Ryan, C., Burke, R., Hussey, K., McCarthy, S., & Gallagher, E. (2017). Effect of pulse flours on the physiochemical characteristics and sensory acceptance of baked crackers. *International Journal of Food Science and Technology*, 52(5), 1155-1163. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13388>
- Monnet, A. F., Laleg, K., Michon, C., & Micard, V. (2019). Legume enriched cereal products: A generic approach derived from material science to predict their structuring by the process and their final properties. *Trends in Food Science & Technology*, 86, 131-143. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.027>
- Zhang, B., Peng, H., Deng, Z., & Tsao, R. (2018). Phytochemicals of lentil (*Lens culinaris*) and their antioxidant and anti-inflammatory effects. *Journal of Food Bioactives*, 1, 93-103. <https://doi.org/10.31665/JFB.2018.1128>





Assessing local livelihood and underlying factors for sustainable management of Mangrove forest: Empirical evidence from Satkhira district of Bangladesh

Md. Masud Rana^{1*}, Farzana Akter²

^{1*}Department of Agricultural Extension Education, Bangladesh Agricultural University

²Plant Physiology Division, Bangladesh Rice Research Institute

Abstract

The mangrove forest is a unique ecosystem that supports the local livelihoods of economically disadvantaged people who reside in nearby areas. The purpose of this study was to assess the state of local livelihood and the contributing factors in Shyamnagar upazila (sub-district) under Satkhira district due to the complex interplay between the detrimental effects of climate change and the vulnerable rural livelihood. To fulfil the research purpose, we assessed local livelihood conditions and the contributory factors for sustainable forest management by introducing mixed-methods research. The primary data were collected from 70 local residents following simple random sampling method by using structured questionnaire survey. Besides, we also introduced focus group discussion as a qualitative approach for narrative interpretation of the findings and data triangulation based on the context-specific evidence. The results clarified that the major proportion of the residents (56%) were involved in non-wood forest products (NWFPs) accumulation, indicating poor socio-economic conditions and a high dependency on the mangrove forest. The local households were vulnerable to natural disasters due to lack of income-earning sources and limited ability to adopt climate-resilient livelihood strategies. The factors of land ownership, training exposure, adaptive strategies and access to finance were most crucial for the livelihood conditions of local inhabitants. The policy implications of our study suggest to pay attention to community-centered training and equal access to livelihood assets based on the local demands. Priority should be given to create gender-inclusive income-generating opportunities and enhancing the capacity of economically disadvantaged individuals to increase their adoption of climate-responsive livelihood approaches in the mangrove ecosystems of Bangladesh.

Key Words: Mangrove ecosystem, livelihood conditions, climate-resilient strategies, adoption, community-centered training, Bangladesh





Polystyrene-Induced Renal Oxidative Damage and Inflammation Mediated by PPAR γ , IL-17, and MAPK8IP3 in Mice

Abdallah A. Basher^{1,2}, Saber Y. Adam¹, Chenhui Li¹, Abdelkareem A. Ahmed³, Hao-Yu Liu^{1,2},
Widad A. Abdalla^{1,2}, Kennedy J. Ogamune^{1,2}, Hira Sayed¹, and Demin Cai^{1,*}

¹ College of Animal Science and Technology, Jiangsu Key Laboratory of Animal Genetic Breeding and Molecular Design, Yangzhou University, Yangzhou 225009, PR China

² Joint International Research Laboratory of Agricultural & Agri-Product Safety, The Ministry of Education of China, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China

³ Department of Veterinary Biomedical Sciences, Botswana University of Agriculture and Natural Resources, Gaborone P.O. Box 100, Botswana

Abstract

Polystyrene-microplastics (PS-MPs) are pervasive environmental contaminants found in common household items, and their ingestion with dietary intake and water is linked to adverse health effects. Following ingestion, PS-MPs can translocate into the circulatory system and accumulate in tissues including kidney. Twelve 6-week-old male C57BL/6 mice were divided into a control group (n = 6) and a PS-MPs group (n = 6) administered 1 mg/kg/day of PS-MPs via oral gavage. Kidney tissue was subjected to histological analysis and thorough transcriptome profiling to identify dysregulated pathways. Histological examination revealed renal atrophy, hemorrhage, thinning of Bowman's capsules, and increased Bowman's capsules space in the PS-MPs group. TEM confirmed severe ultrastructural damage, including nuclear deformation, cytoplasmic vacuolization, and mitochondrial cristae disruption. Transcriptome analysis showed significant enrichment in the PPAR, MAPK, and inflammatory response signaling pathways. Key dysregulated genes included PPARG, ACADL, and SCP2 (PPAR pathway); MAPK8IP3, MAPK11, and FGFR1 (MAPK pathway); and IL-17, RELA, and TLR1 (inflammatory response). This study aimed to investigate the molecular mechanisms underlying PS-MPs-induced kidney injury in a mouse model, with a focus on transcriptomic changes in inflammatory and oxidative stress pathways. In male C57BL/6 mice, PS-MPs exposure induces significant kidney damage at histological, ultrastructural, and molecular levels, dysregulating genes critical to oxidative stress, inflammation, and identifies PPAR γ , IL-17 and MAPK8IP3 as pivotal mediators in PS-MPs-induced nephrotoxicity.

Key Words: Polystyrene-microplastics; PPAR γ ; IL-17; MAPK8IP3; nephrotoxicity





Infrastructure As a Catalyst for Economic Growth: A Quantitative Analysis of Padma Bridge of Bangladesh

Faysal Ahmed Himel¹, Sojib Bhawmick¹, Md. Rakibul Hasan², Babor Ahmad^{3*}

¹Department of Economics, Dhaka International University, Dhaka-1212, Bangladesh.

²OIC Ministerial Standing Committee on Scientific and Technological Cooperation (COMSTECH), Islamabad, Pakistan

³Department of Economics, Faculty of Social Science and Humanities, Hajee Mohammad Danesh Science and Technology University, Dinajpur-5200, Bangladesh

Abstract

In this study, the impact of the Padma Bridge on the local economy, supply chain and agricultural sector in Sreenager Upazila of Munshiganj District of Bangladesh was analyzed. The launch of the Padma Bridge in June 2022 was one of the major infrastructural achievements of Bangladesh, directly connecting the south-western region with the country's capital. The main objective of the study was to determine how improved communication led to improved business performance, increased revenue and improved market linkages. Usually, the initial 400 pieces of data are collected from respondents, including farmers, businesses and small entrepreneurs. The OLS model is used to analyze data. According to the results, a positive correlation of income with the education sector, reduced transportation costs and time for better communication, makes the local supply chain more efficient and increases market access. The study found that 70% of merchants experienced an increase in sales and 43% an increase in revenue after the opening of the bridge. However, local infrastructure creates new challenges for restrictions and markets. The study concluded that the Padma Bridge acts as an economic catalyst, which accelerates business diversification and agriculture. To ensure long-term sustainable development, it is necessary to develop skills, financial support for small and medium entrepreneurs and adopt policies. In substance, the study shows that the Padma Bridge, a large infrastructure project, can play an important role in the growth of the local and national economy.

Key Words: Padma bridge, Local economy, Supply chain, Agriculture activity, Market Accessibility





Land use and water resources in Africa

Lud Abdi Gaiye¹, Burak Şen²

¹ Department of Digital Agriculture Faculty of Science, Niğde Ömer Halisdemir University, Turkey

² Department of Biyosistem Engineering, Faculty of Agricultural Sciences and Technologies, Niğde Ömer Halisdemir University, Turkey

Abstract

This paper examines land use policy and agricultural water management in Africa from 1962 to 2011. For this purpose, data were gathered from Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and the World Bank Group. Using the FAO database, ten indices were selected: permanent crops to cultivated area (%), rural population to total population (%), total economically active population in agriculture to total economically active population (%), human development index, national rainfall index (mm/year), value added to gross domestic product by agriculture (%), irrigation water requirement (mm/year), percentage of total cultivated area drained (%), difference between national rainfall index and irrigation water requirement (mm/year), area equipped for irrigation to cultivated area or land use policy index (%). These indices were analyzed for all 53 countries in the study area and the land use policy index was estimated by two different formulas. The results show that value of relative error is 20 %. In addition, an average index was calculated using various methods to assess countries' conditions for agricultural water management. Ability of irrigation and drainage systems was studied using other eight indices with more limited information. These indices are surface irrigation (%), sprinkler irrigation (%), limited irrigation (%), spate irrigation (%), agricultural water withdrawal (10 km³/year), conservation agriculture area as percentage of cultivated area (%), percentage of area equipped for irrigation salinized (%), and area waterlogged by irrigation (%). Finally, tendency of farmers to use irrigation systems for cultivated crops has been presented. The results show that Africa needs governments' policy to encourage farmers to use irrigation systems and raise cropping intensity for irrigated area.

Key Words: Africa; Agricultural water management; Land use policy index; Macroeconomic policies; Climate change; Hydrological Modeling.

Introduction

Freshwater on land is a vital resource for terrestrial life, ecosystems, biodiversity and human societies (Vörösmarty et al. 2000, 2010; Steffen et al. 2015; Seddon et al. 2016; Albert et al. 2021). Continental water is stored in various reservoirs, unevenly distributed across geophysical environments and climates (Chahine 1992; Shiklomanov and Rodda 2003). It includes seasonal ice and snow, glaciers and ice caps, aquifers, soil water and soil moisture, and surface waters (Stephens et al. 2020). The latter, comprising of rivers, lakes, man-made reservoirs, wetlands, floodplains and inundated areas (Alsdorf et al. 2007), is of particular significance as it supports diverse and dynamic environments globally and provides important benefits and services to human society and economic activities (Oki and Kanae 2006). Surface waters are also an integral part of the global water cycle (Good et al. 2015; Trenberth et al. 2007), continuously exchanging mass with the atmosphere and the oceans, making them a key component of the climate system and its variability (Stephens et al. 2020). However, freshwater storage and flux, their spatial distribution and variability, remain highly unknown in many regions of the world (Rodell et al. 2018), preventing the development of adequate and sustainable strategies to manage water resources (Oki and Kanae 2006; Hall et al. 2014).

Due to the limited water resources, the role of macro-economic policies in agricultural water management is vital and undeniable. Africa has the most population growth in the world while, actual crop yield as percentage of potential yield is 40 % for North Africa and it is 30 % for Sub-Saharan Africa (FAO 2012); therefore, Africa needs specific attention. Namara et al. (2010) mentioned the role of agricultural water management to reduce poverty in the world via three pathways. Those are improvement of production, enhancement of employment opportunities and stabilization of income and consumption using access to reliable water (first pathway), increasing high-value products (second pathway), and finally by its role in nutritional status, health, societal equity, and environment (third pathway). They preferred improving the management of existing systems as selected strategy in North Africa. Valipour (2012, 2013a, b, c) mentioned the status of irrigated and rainfed agriculture in the world, summarized the advantages and disadvantages of irrigation systems, and attend to update irrigation information to select optimum decision. The present paper shows that 46 % of cultivated areas in the world are not suitable for rainfed agriculture because of climate changes and other meteorological conditions.

The value of irrigation-equipped areas as share of cultivated areas was 5.8 % and the value of water-managed areas as share of cultivated areas was 6.7 % for Africa. In addition, Mati (2011) discussed the effects of optimizing



agricultural water management for the green revolution in Africa. Hanjra et al. (2009b) and Burney et al. (2013) argued about the favorable impact of investments in agricultural water management for Sub-Saharan Africa. They claimed that poverty was significantly reduced in equipped area than in rainfed area, and concluded that investments in agricultural water management and complementary rural infrastructure and related policies were the pathways to break the poverty trap in Sub-Saharan African agriculture. Franks et al. (2008) examined developing capacity for agricultural water management in current practice and future directions. They suggested increased attention to monitoring and evaluation of capacity development, and closer links to emerging work on water governance. Khan et al. (2009) reviewed water management and crop production for food security. According to the authors, relations between water and other development-related sectors such as population, energy, food, and environment, and the interactions among them require reckoning, as they together will determine future food security and poverty reduction. Funnell (1994) discussed the intervention of government or other agencies into long-established irrigation schemes and also the possible implications of intrusion into the activities of farmers who have recently moved into irrigation in Morocco and Swaziland. He suggested that any attempt to encourage greater involvement with irrigation must be accompanied by economic measures which favor small-scale production.

Effects of climate change on water resources in Africa

Observable and potential effects of climate change on water resources in Africa include: flooding, drought, change in the frequency and distribution of rainfall, drying-up of rivers, melting of glaciers, receding of water bodies, landslides, and cyclones among others.

Flooding

For millennia, humans have settled in floodplains in order to till fertile soils, use the flat terrain for settlements, gain easy and safe access to water and use rivers for transport (Pavel, 2003). Riverine floods are a natural phenomenon; they have always occurred, and populations have benefitted from them to whatever extent possible (for example, in ancient Egypt the natural annual flooding of the Nile brought much needed nutrients to irrigated soils). In recent times, humans have become more exposed to flood risk as encroachment into flood plains and lack of flood response plans increase the damage potential.

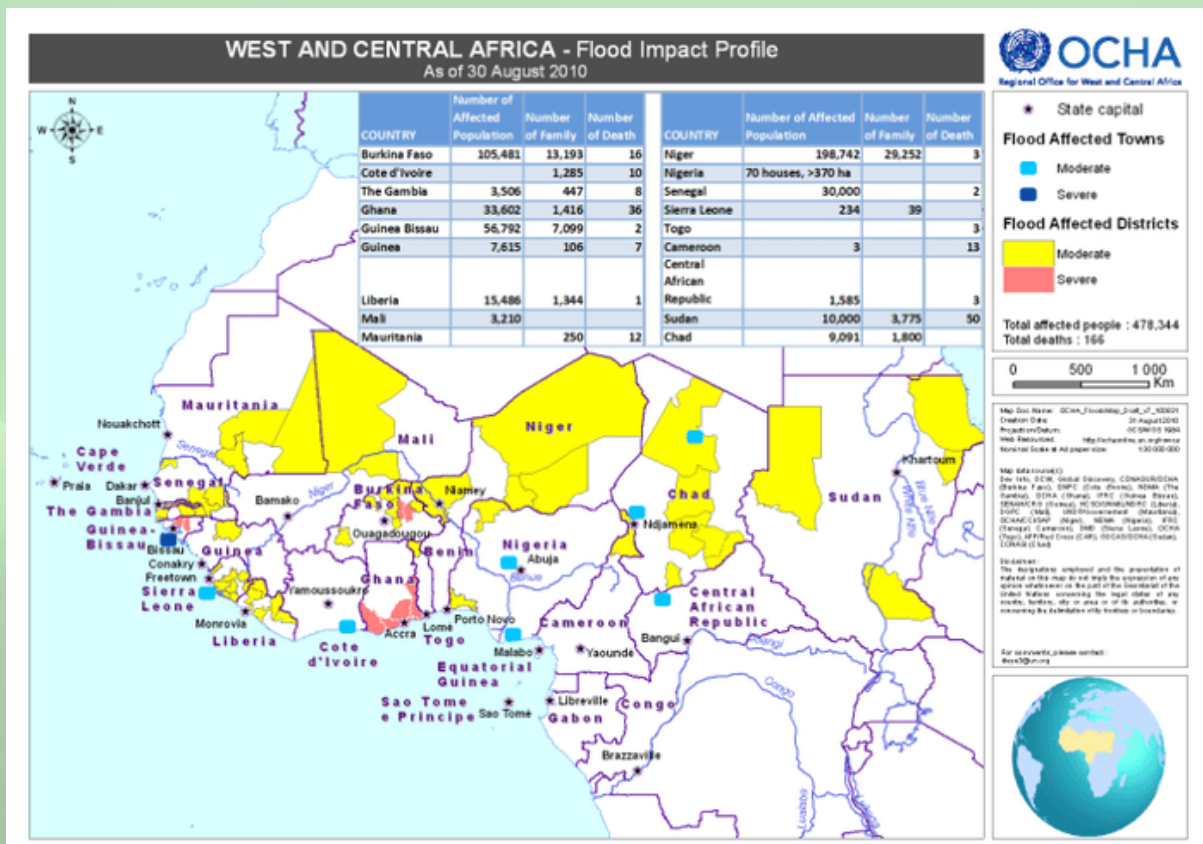


Figure 1: Flood map of Central and West African regions Source: United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA) (2010).





Floods can occur in arid areas as well as humid areas. In tropical near-coastal regions, they generally result from cyclones that can drop a year's worth of rainfall in a day. According to the BBC News (2007), about 14 countries, namely Burkina Faso, Chad, Ethiopia, Ghana, Kenya, Liberia, Mali, Niger, Nigeria, Senegal, Sudan, Togo, Uganda, and Rwanda, are the worst hit by flood in the African continent. Scores of people have died and hundreds of thousands have been displaced by the floods that have submerged much of the continent's most productive farmland, hence necessitating urgent food, shelter and medicare. In the same vein, episodes of flood accounted for 26 per cent of total disaster occurrences in Africa during 1971-2001 (Vordzorgbe, 2003) with devastating effects. In North Africa, the 2001 disastrous flood in northern Algeria resulted in about 800 deaths and economic loss of about \$400 million. In East Africa, the El Niño-related flood in 1997/1998 destroyed infrastructure and property worth about \$1.8 billion in Kenya. In Mozambique, the 2000 flood (worsened by two cyclones), reduced the annual economic growth rate from 10 per cent to 4 per cent, caused 800 deaths, affected almost 2 million people of which about 1 million needed foods, displaced 329,000 people and destroyed agricultural production land, among other negative effects. The worst single episodes of flood in Africa occurred in East Africa: one event in 1997 killed 2,311 people in Somalia; another in 1999 affected 1.8 million people in the Sudan (AWDR, 2006).

Floods across Africa are reported to be the worst in decades in some places and extend in an arc from Mauritania in the west to Kenya in the east. At least an estimated 1.5 million people are so far affected (World Food Programme, WFP, 2007). According to the Cable Network News, CNN (2009), torrential rains and flooding since June have affected 600,000 people in 16 West African nations. The worst hit have been Burkina Faso, Senegal, Ghana and Niger, where many lives and property have been lost to severe flooding events.

Drought

The term drought may refer to a meteorological drought (precipitation well below average), hydrological drought (low river flows and low water levels in rivers, lakes and groundwater), agricultural drought (low soil moisture), and environmental drought (a combination of the above) (Bates et al., 2008). The socioeconomic impacts of droughts arise from the interaction between natural conditions and human-induced climate change factors such as changes in land use, land cover, and the demand for and use of water. In some cases, the frequency of occurrence of droughts is exacerbated by human induced changes in land cover. Excessive water withdrawals can increase the likelihood and impact of drought. Droughts have both direct and indirect consequences for human livelihoods (Pavel, 2003). A direct consequence is cropping loss, which can cause starvation if alternative food sources are not available. Indirectly, water shortages contribute to the spread of disease, because people lack water for basic hygiene. An example of a consequence of drought is shown in Figure 2, where nomads lost hundreds of their cattle due to drought.



Figure 2. Carcasses of drought-stricken cows in Kenya. REUTERS/Thomas Mukoya

Climate change is projected to increase the risk of drought over much of Africa in the 21st century. The regions where droughts have occurred seem to be determined largely by changes in sea surface temperatures, especially in the tropics, through associated changes in the atmospheric circulation and precipitation as seen in Table 1. Since the late 1960s, droughts have caused much suffering in Africa. Severe droughts were experienced in 1973 and 1984 when almost all African countries suffered reduced rainfall, which particularly affected several million people in the Horn of Africa, the Sahel and Southern Africa (AWDR, 2006). Droughts are endemic in both Southern Africa and the Sahel region of western and northern Africa.





Economic impacts

Climate change can affect many important sectors of the economy by influencing the supply of and demand for goods and services (WBGU, 2008). Empirical evidence shows that there will be changes in the supply and demand of food commodities as a result of low yields resulting mainly from drought and flooding events. The changes will also affect the profitability of farming and the affordability of food. According to Miller and Yates (2005), future climate change could influence municipal and industrial water demands, as well as competing agricultural irrigation demands. Municipal demand depends on climate to a certain extent, especially for garden, lawn and recreational field watering, but rates of use are highly dependent on utility regulations. Industrial use for processing purposes is relatively insensitive to climate change as industry most often prefers to meet target outputs rather than consider the environmental implications of its activities.

The World Bank's Water Resources Sector Strategy quotes examples of impacts of climate variability on economic performance. In its 2003 report, the Bank noted that the drought in Zimbabwe in the early 1990s was associated with an 11 per cent decline in GDP; the floods of 1999 in Mozambique led to a 23 per cent reduction in GDP (Pavel, 2003). The scale of these losses highlights the need for water planners and managers to have a better understanding of the mechanisms of climate variability and their relationships with hydrological extremes such as floods and droughts. Economic losses from natural disasters, including floods and droughts, increased three-fold between the 1960s and the 1980s; and ten-fold between the 1950s and the 1990s (Pavel, 2003).

The poor are among those who suffer particularly from the effects of water stress due to their vulnerability and inability to adapt. An increase in surface temperature will affect the livelihoods of the 70 per cent of Africans who depend on rain-fed agriculture. This will lead to low productivity, low income, and a low standard of living, thus completing the vicious cycle of poverty. Economic impacts from curtailment of hydropower generation from Lake Kariba as a result of the 1991-1992 drought were estimated to be the loss of US\$101 million in GDP, US\$36 million in export earnings, and 3,000 jobs (Benson and Clay, 1998, cited in Manase, 2009). In Mozambique, floods in 2000 cost the economy US\$550 million, or 12 per cent of GDP (Grey and Saddoff, 2005, cited in Manase, 2009). Where climate change brings with it an increase in the frequency of extreme weather events such as flooding and drought, the risk of damage to property and infrastructure also rises. Insurance companies will need to significantly increase the amount of capital they hold to be able to provide insurance cover at a level comparable to that of today (WBGU, 2008).

Observing Surface Waters from Space in Africa

Surface Water Elevation from Earth Observation

Surface water elevation of inland water bodies is a key parameter in hydrology and water resources and has been long measured through historical gauge networks (Fekete et al. 2012). Over Africa, where traditional in situ measurements are sparse, a comprehensive monitoring of surface water elevation still remains a challenge. Moreover, the lack of fiducial in situ measurements can possibly be a limitation regarding the ground validation of remote sensing products.

Although, up to now, no satellite mission has been specifically designed to survey inland water elevations, satellite altimetry has been extensively used in the last three decades to remotely sense surface water elevation variations in lakes, rivers, reservoirs, and flood plains (Calmant et al. 2008) and improve the long-term monitoring of Africa's hydrology. Radar altimeters onboard satellites are initially designed to measure the ocean surface topography by providing along-track nadir measurements of water surface elevation (Stammer and Cazenave 2017). Over the continents, pioneering studies in the Amazon basin (Fassoni-Andrade et al. 2021) quickly demonstrated the capacity of retrieving accurate surface water elevation from radar echoes and adapted retracking procedures at the intersection of the satellite ground track with a water body (Birkett 1998; Frappart et al. 2006; Da Silva et al. 2010). These intersections, named virtual stations (VSs), are defined by the satellite orbit configuration, the repeat cycle of which define also the temporal interval sampling of altimetric observations (generally 10, 27 or 35 days) (Normandin et al. 2018; Papa et al. 2012a). At a given VS, surface water elevation is estimated through the inversion of the signal round-trip propagation time between the satellite and the Earth's surface, which provides the range. Several corrections (in hydrology, essentially due to delayed propagation through the atmosphere or the interaction with the ionosphere and geophysical corrections due to the dynamics of Earth's surface) need to be applied to this range to retrieve the surface water elevation. The height of the reflecting surface, given in respect to the height of the satellite above the reference ellipsoid, is then corrected from the local undulation of the geoid in order to be converted into an orthometric height or geoidal altitude of the water body, the variable that is useful for hydrologists. For a detailed and complete description of the characteristics of the different satellite altimetry missions and the estimation of surface water elevation for hydrology, including the various re-trackers used, altimetric waveform description, the specific corrections (geoid gradient for lakes, hooking effect for rivers and small water bodies), the associated errors and biases, the different acquisition modes [Low Resolution Mode (LRM), SAR, SAR Interferometric (SARIn)], we refer to Cretaux et al. (2017).





Several groups or institutions around the world provided time series of surface water elevation, covering a wide range of water bodies and applications. Table 1 provides the main sources and databases (non-exhaustive) that provide surface water elevation time series over Africa.

The in-depth assessment and validation of the water levels derived from the satellite altimeter over lakes, rivers and other inland water bodies were performed worldwide against in situ gauges (Frappart et al. 2006; Da Silva et al. 2010; Papa et al. 2010a; Ričko et al. 2012; Cretaux et al. 2018; Kao et al. 2019; Paris et al. 2022; Kittel et al. 2021a; Kitambo et al. 2021), with satisfactory results and uncertainties ranging between few centimeters to tens of centimeters, depending on the environments (Cretaux et al. 2017). Radar altimetry over African lakes the large lakes (Fig. 1) of Central Africa (Chad, Fitri) and East Africa (in the Rift and adjacent regions, such as Lakes Victoria, Tanganyika and Malawi) are icons of Africa's tremendous water resources and valuable sentinels of the effects of climate variability and change. They remain highly dependent on the long-term rainfall characteristics (Becker et al. 2010; Hernegger et al. 2021), and they also influence the climate locally (Nicholson and Yin 2002). For instance, rainfall over Lake Victoria was found to be 30% higher than in the surrounding land areas, since part of the evaporation returns directly to the lake through precipitation (Asnani 1993; Anyah et al. 2006). Syn chromous variations in water level records on the three largest lakes in the Rift region are explained by large-scale climate mechanisms associated with oscillations of warm and cold phases of El Niño (Ogallo 1988; Nicholson 1996; Ropelewski and Halpert 1996; Stager et al. 2007) or the Indian Ocean Dipole (IOD) (Hastenrath et al. 1993; Marchant et al. 2006), or the Atlantic SST (Sea Surface Temperature) anomaly patterns (Janicot 1992). The IOD is also partly driving the lake water level over East Africa, modulated by El Niño Southern Oscillation (ENSO) events (Mistry and Conway 2003; Birkett et al. 1999). Tierney and Russell (2007) further highlighted the significant influence of the Indian Monsoon variability and the migration of the Inter Tropical Convergence Zone (ITCZ) on African lake levels. The use of an 80 year-record of in situ level data at Lake Malawi (1916–1995) helped with identifying the links with the rainfall variability over the catchment and the flows of the Zambezi River (Jury and Gwazantini 2002), consistent with large-scale climate variability that helps the prediction of lake levels a year in advance. Finally, other studies have shown that global warming has an impact on precipitation and temperature variations with consequent changes in African lake levels (Xu et al. 2005; De Wit and Stankiewicz 2006).

Surface Water Extent from Earth Observation

The extent of surface water bodies and their variation is of primary importance to the water, energy and biogeochemical cycles and the maintenance of biodiversity of the African continent. In many regions of Africa, water bodies cover a large portion land's surface area, with strong seasonal and interannual variability that play a key role in the carbon cycle (Hastie et al. 2021; Hubau et al. 2020), biogeochemistry processes (Borges et al. 2015) and the occurrence of water-related disasters such as flood risk in populated areas. Measuring the distribution and variability in the extent of surface waters across different spatial and temporal scales has always faced great difficulties, especially using the in-situ networks. It is indeed very difficult to estimate on the ground the variations in surface water extent in large floodplains and wetlands, especially under vegetation or during extreme events such as inundation. Even in the era of remote sensing observations, it still remains a challenge.

A variety of remote sensing techniques employing a wide range of observations in the electromagnetic spectrum, including visible, infrared, or microwave observations (Alsdorf et al. 2007; Prigent et al. 2016; Huang et al. 2018), have been developed in the last decades to estimate the distribution of surface water from very fine spatial resolution (few meters) to coarser ones (~ 50 km) covering various temporal scales and periods. These remote sensing techniques are now widely used in hydrology and water resource research.

Depending on the sensors or the applications they are developed for, these observations include a large range of space/time resolutions, most of the time resulting from a trade-off between temporal and spatial coverages and sampling (Chawla et al. 2020). For instance, SARs show very large capabilities to measure surface water extent at high resolution (10–100 m) but often suffer from a low temporal revisit time, making them not suitable to monitor rapid hydrological processes. In one hand, optical and infrared sensors have good spatial/temporal resolution, sometimes with ~ 10 m resolution and a few days revisit, but their capabilities are limited in tropical and subtropical Africa regions because of dense clouds and vegetation. On the other hand, passive microwave sensors offer frequent temporal sampling, sometime twice daily, but the observations are generally at low spatial resolution (~ 10–50 km) thus limiting their use to the monitoring of large surface water areas. As already mentioned in the previous section regarding surface water elevation, many methodologies regarding the monitoring of surface water extent from space in tropical environments have been originally conducted in the Amazon Basin (Fassoni-Andrade et al. 2021); with the African river basins only recently benefiting from these advances.

Following the use of SARs to delineate surface water extent in the Amazon floodplains and tropical forest environments (Hess et al. 1995, 2003), efforts have been carried out to undertake similar studies in the Congo River Basin that hosts several seasonally or Permanently flooded areas, such as the Bangwelu and Upemba swamps or the Cuvette Centrale in the Middle Congo. Seasonal flooding dynamics and vegetation types were thus



derived from the Japanese Earth Resources Satellite-1 (JERS-1) (Rosenqvist and Birkett 2002) or the use of multi-temporal SAR coverage, such as the Scan SAR mode of ALOS/PALSAR SAR data (Lee et al. 2011). They conclude that the JERS-1 SAR mosaics may serve well to appraise the maximum extents of flooding in the Congo River basin, but perform poorly to assess the dynamics and ranges of the variations. Bwangoy et al (2010) and Betbeder et al (2014) employed a combination of SAR L-band and optical imagery to characterize the Cuvette Centrale land cover. They estimated the wetland extent to reach more than 360,000 km², representing about 32% of the total area.

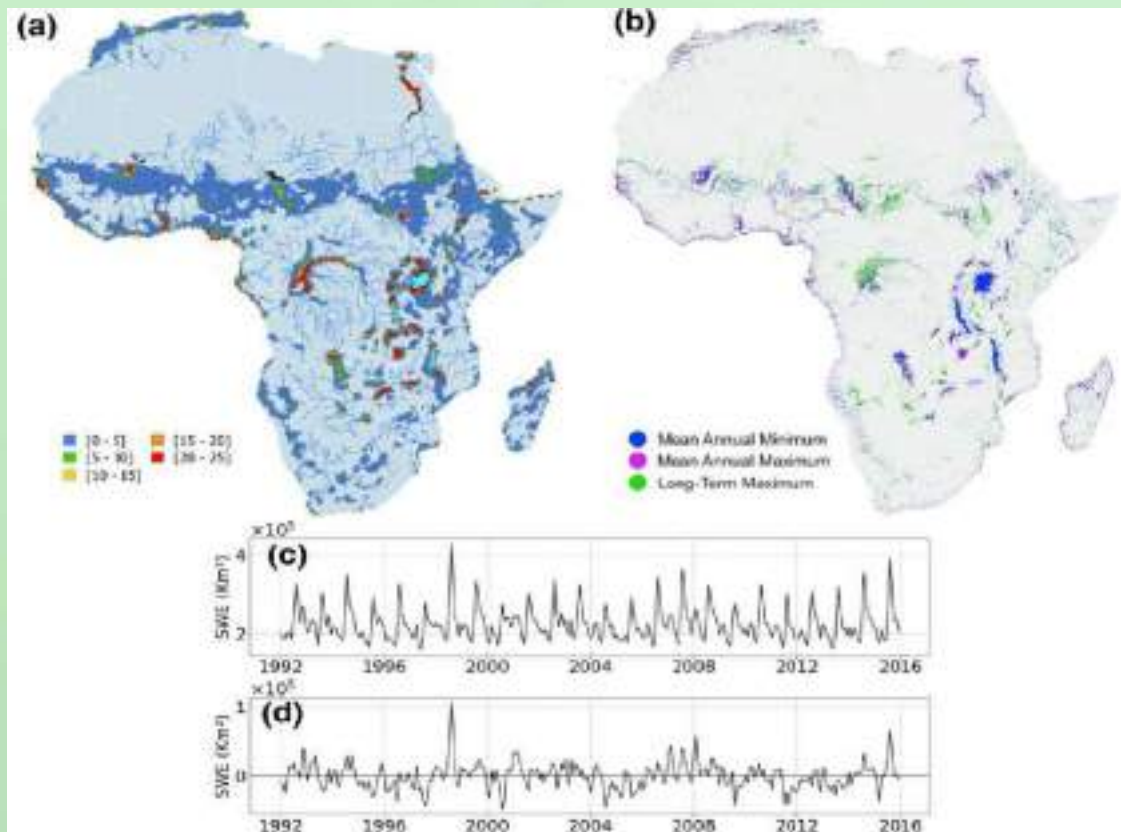


Figure 3 Characterization of surface water extent from multi-satellite techniques over Africa.

a Mean surface water extent (1992–2015) from GIEMS-2 expressed in percentage of the pixel coverage size of 773 km² (for visual purpose, only pixels with a value > 0.1% are displayed). b Surface water extent at 500 m spatial resolution from GIEMS-D15. c Time series of surface water extent aggregated over Africa, and d Cor responding DE seasonalized anomalies obtained by subtracting the 24-year mean monthly value from individual months,

The Use of Earth Observations for Modeling Surface Waters and Hydrological Processes in Africa

Hydrological Modeling

Hydrological models are employed to numerically reproduce the hydrological functional behaviors and the water cycle processes through sets of mathematical equations. This representation of the processes related to the transition of rainfall to runoff through channels occurring at the land surface is termed hydrological modeling, which can also be understood as a means of quantitative prediction for decision-making (Tshimanga 2022). Hydrological modeling is commonly used to understand hydrological process, to predict hydrological variables, particularly when and where they are not currently measured in situ, and/ or to predict the effects of future climate and explore “what-if” scenarios to understand the impacts of other changes, such as land use, dam building or urbanization. Quantifying all these processes is of paramount importance for hydrological prediction and water resources management under both stationary and non-stationary conditions, further complicated by our limited ability to measure or assess the subsurface interactions where many complex water fluxes take place.

In the African continent, a number of hydrological model applications have been initiated to meet the purpose of processes understanding and predictions across different scales, as well as water resources management plans. Some of these initiatives include the development of new models that are fit for purpose in the context of the African hydrology. Particular reference is made to the Pitman model (Pitman 1973; Hughes et al. 2007), the Agricultural Catchment Research Unit (ACRU) model (Schulze and George 1987) and a Hybrid Atmospheric and Terrestrial Water Balance (HATWAB) model (Alemaw and Chaoka 2003) that have been developed and used for simulating hydrological processes under different African hydro-climatic conditions.





A large number of hydrological modeling structures are currently available, but they differ in the degree of detail of the description of processes, the manner in which processes are conceptualized, the requirements for input and output data, and the possible spatial and temporal resolution. The common practice now in hydrological modeling communities is to use or adapt model structures that have been relatively successfully performed elsewhere. In this regard, a large number of global or land surface models have been used under different conditions and for different purposes across the African continent (Tram bauer et al. 2013; Hughes et al. 2015; Boone et al. 2009; Grippa et al. 2017; Getirana et al. 2017b). Here, we do not intend to provide a classification of hydrological models, so more detailed information about the classification of these models can be referred to in the references cited.

Although hydrological modeling includes the transport of water through rivers, either implicitly or explicitly, there is still a need for more specialist models that simulate in detail the flow transport in channels and floodplains. These hydraulic models, also commonly referred to as hydrodynamic models, generally utilize some derivative of the Saint-Venant shallow water flow equations and are used to model river channel and floodplain processes more explicitly and in higher detail than would typically be undertaken with a hydrological model. Importantly, they provide spatiotemporal predictions of water levels and velocities, which allows the mapping of floodplain inundation dynamics and simulate sediment transport characteristics. Satellite-derived observations of these parameters have also advanced our understanding of these processes and allowed calibration and validation where in situ data are sparse (Schumann et al. 2009).

Observational Challenges and Future Opportunities to Monitor African Surface Waters: Way Forward to Water Resources Management

African surface hydrology and terrestrial water cycle have undoubtedly benefited from more than 30 years of developments and studies using Earth Observation and models, as demonstrated and discussed in the previous sections. The use of remote sensing data has helped to improve our overall knowledge and understanding of the variability and changes of surface water across the African continent, as well as the processes and mechanisms that drive them at various scales. Remote sensing data now represent a powerful complement to “classical” observations, and the synergy of both means is key to overcome difficulties in a region with sparse in situ networks and where many basins are still ungauged. This complementary exist in many aspects, since satellites often brings a mean to spatialize observations, over large-scale regions and sometimes at fine spatial resolution, while ground observations bring very accurate measurements with often high temporal frequency that no current satellite can compete with. Conversely, satellites give access to new quantities such as the inundated area, which are almost impossible to collect from the ground.

Therefore, remote sensing data dedicated to hydrology have strongly contributed to filling some gaps in the observational systems needed to accurately and comprehensively monitor the environment of Africa. Our review thus highlighted the main remote sensing products that are now available to study African surface water and how their use has contributed to new findings and advances in hydrology across the region. Current limitations However, there are still many gaps that can be identified regarding our current knowledge of African surface water and the scientific community will need to tackle them in the near future to ensure a comprehensive monitoring and understanding of African hydrology. Some of these basic questions were listed in a community-based effort that synthesized 23 Unsolved Problems in Hydrology (Blöschl et al. 2019).

Without the pretention of making an exhaustive list of these incomplete knowledges, one can note from our review analysis some obvious and important gaps regarding surface water. For instance, many water bodies are still left with no observations or are monitored with temporal/spatial sampling which are not adequate to capture their characteristics or dynamics. Our review clearly demonstrated that radar altimetry is a very powerful for monitoring water bodies such as lakes and reservoirs located under the satellite tracks, but it is still blind to many smaller lakes and reservoirs that stand in between the ground-tracks. Some processes and mechanisms that drive the variability of water bodies also require observations with high temporal frequency which most current satellite missions don't offer. These limitations therefore prevent a better understanding of the variability of water level and extent in small lakes, reservoirs, rivers and wetlands and how these water bodies interact in complex systems such as in the river floodplain and in river-lake continuums. Additionally, there is still a very limited knowledge of water level and slopes at fine spatiotemporal resolution over African surface water, as well as topography in floodplains and flooded forests, preventing to significant improvements in hydraulic modeling of the systems. Similarly, river discharge, which was historically one of the first variables measured in hydrology and the most used to develop and calibrate models, is still not properly measured from space, as discussed in Tarpanelli et al. (2021). This review stresses a need to accurately estimate river discharge across the continent with fine spatial and temporal resolutions.

Finally, we identified a strong need for monitoring water quality through remote sensing, which remains challenging especially given the complexity of African inland waters. Using recent optical sensors, suspended sediment concentration could be retrieved with promising results over specific sites, but developing general algorithms to estimate this variable at the regional or continental scale remains a challenge. As part of river





hydrology that involves flood dynamics, surface types and complex interactions, sedimentation processes need to be properly monitored to assess geomorphological changes in floodplain and river channels. Improving the observations of phytoplankton and the chlorophyll a dynamic using satellites is also identified as key since they contribute to healthy ecosystems, biodiversity and water security.

Way forward Monitoring and modeling the components of the hydrological cycle with Earth Observation have now become a reality and this will be reinforced further in the coming years. However, there is still an open path to bring all these scientific advances forward into effective applications in water resources management and related decision-making. Africa, like many regions worldwide, is currently facing an extensive human footprint on its freshwater which raises a new set of needs in this context. Complex water management problems thus call for integrated planning using Earth Observation monitoring tools. Remote sensing has the potential to emulate essential information for decision-makers (Fassoni-Andrade et al. 2021) and is bringing new ways to monitor “politically ungauged” regions where information is not publicly available as advocate by Gleason and Durand (2020). But these Earth Observation advances need to translate into real support to water and environmental governance. Thus, the remote sensing community is now facing real challenges as it needs to promote these new knowledges and datasets in a manner that is more useful for societies and to pave the way for innovation and decision support in Africa. Potential actions to take include to reducing the gap between scientific communities, by promoting interdisciplinary approaches toward more inclusive water systems, by training decision-makers to Earth Observation current progress and advances, by promoting open access datasets, tools and repositories. These actions should also include a better integration and support of African scientists in future programs related to water in order to reduce the disparity of opportunity and access to resources. Investment in science, from national and international communities, is also needed to fill these gaps, as demonstrated for the Congo Basin (White et al. 2021).

Conclusion

The potential wide-ranging impacts of climate change on water resources (availability, accessibility and demand) as reviewed above make a compelling case for the need to strengthen integrated water resources management institutions in respective southern Africa countries since decisions for water resources planning and management (including aspects of climate change impacts) are made within such structures. At catchment level it is then possible to make maximum use of current and future advances in the fields of geographical information systems, remote sensing, information management, and computer science in evaluating climate change impacts on water resources.

Incorporation of climate change information should be done even at regional level through such structures as the SADC protocol on shared water courses, as the region has 12 shared river basins (namely: Zambezi, Limpopo, Orange, Pungwe, Inkomati, Okavango, Ruvuma, Buzi, Kunene, Save and Usutu basins). Given such link ages, the projected reduction in the stream flow for the Zambezi basin, for example, will inevitably affect all the eight SADC riparian states (home to over 40 million people) in terms of water availability (e.g. for irrigation or hydroelectric power generation), wetlands, agriculture (Thornton et al., 2009), and tourism (Beck and Bernauer, 2011). It thus becomes imperative to enable collaborative regional training and research that critically evaluates the potential impacts of climate change on water resources in different southern Africa hydro-climatic regions so as to inform policy and improve adaptation measures.

Addressing the above research issues will ultimately help address problem areas related to a number of climate and hydrological modelling issues discussed above, including parameter estimation, temporal and spatial scale of application, validation, climate-scenario generation, data, and modelling tools. Solutions to these problems would significantly improve the capability of models to assess the effects of climate change on water resources in southern Africa; hence water resources evaluation and management under a changing climate.

References

- African Water Development Report, AWDR (2006) Freshwater Resources in Africa: 380pp. Available at: <http://www.uneca.org/awich/AWDR%202006/Freshwater%20Resources%20in%20Africa.pdf> (viewed 14 November 2009).
- Albert JS, Destouni G, Duke-Sylvester SM et al (2021) Scientists’ warning to humanity on the freshwater biodiversity crisis. *Ambio* 50:85–94. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01318-8>.
- Alsdorf DE, Rodríguez E, Lettenmaier DP (2007) Measuring surface water from space. *Rev Geophys* 45:RG2002. <https://doi.org/10.1029/2006R G000197>.
- Alsdorf DE, Rodríguez E, Lettenmaier DP (2007) Measuring surface water from space. *Rev Geophys* 45:RG2002. <https://doi.org/10.1029/2006R G000197>.
- Anyah RO, Semazzi FHM, Xie L (2006) Simulated physical mechanisms associated with climate variability over Lake Victoria Basin in East Africa. *Mon Weather Rev* 134(12):3588–3609. <https://doi.org/10.1175/MWR3266.1>.
- Asnani GC (1993) Tropical meteorology, vols 1 and 2. Indian Institute of Tropical Meteorology, 1012 pp.
- Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S., and Palutikof, J.P. (eds) (2008) Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Secretariat, Geneva: 210pp.





- Betbeder J, Gond V, Frappart F, Baghdadi NN, Briant G, Bartholomé E (2014) Mapping of Central Africa forested wetlands using remote sensing. *IEEE J Sel Top Appl Earth Obs Remote Sens* 7(2):531–542. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2013.2269733>.
- Birkett CM (1998) Contribution of the TOPEX NASA Radar Altimeter to the global monitoring of large rivers and wetlands. *Water Resour Res* 34(5):1223–1239. <https://doi.org/10.1029/98WR00124>.
- Birkett CM, Murtugudde R, Allan T (1999) Indian Ocean climate event brings floods to East Africa's lakes and the Sudd Marsh. *Geophys Res Lett* 26:1031–1034. <https://doi.org/10.1029/1999GL000165>.
- Blöschl G, Bierkens MFP et al (2019) Twenty-three unsolved problems in hydrology (UPH)—a community perspective. *Hydrol Sci J* 64(10):1141–1158. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1620507>.
- Boone A, De Rosnay P, Balsamo G, Beljaars A, Chopin F, Decharme B, Delire C, Ducharme A, Gascoin S, Grippa M, Guichard F (2009) The AMMA Land Surface Model Intercomparison Project (ALMIP). *Bull Am Meteorol Soc* 90(12):1865–1880. <https://doi.org/10.1175/2009BAMS2786.1>.
- Borges AV, Darchambeau F, Teodoru CR, Marwick TR, Tamooch F, Geeraert N, Omengo FO, Guérin F, Lambert T, Morana C, Okuku E, Bouillon S (2015) Globally significant greenhouse-gas emissions from African inland waters. *Nat Geosci* 8:637–642. <https://doi.org/10.1038/ngeo2486>.
- Burney JA, Naylor RL, Postel SL (2013) The case for distributed irrigation as a development priority in Sub-Saharan Africa. *Proc Natl Acad Sci USA* 110(31):12513–12517.
- Bwangoy JRB, Hansen MC, Roy DP, De Grandi G, Justice CO (2010) Wetland mapping in the Congo Basin using optical and radar remotely sensed data and derived topographical indices. *Remote Sens Environ* 114(1):73–86. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.08.004>.
- Cable Network News, CNN (2009) West Africa flooding affects 600,000. UN reports. Available at: <http://edition.cnn.com/2009/WORLD/africa/09/08/west.africa.flooding/index.html> (viewed 16 November 2009).
- Calmant S, Seyler F, Cretaux JF (2008) Monitoring continental surface waters by satellite altimetry. *Surv Geophys* 29(4–5):247–269. <https://doi.org/10.1007/s10712-008-9051-1>.
- Chahine MT (1992) The hydrological cycle and its influence on climate. *Nature* 359:373–380.
- Chawla I, Karthikeyan L, Mishra AKA (2020) Review of remote sensing applications for water security: quantity, quality, and extremes. *J Hydrol* 585:124826. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124826>.
- Cretaux J-F, Bergé-Nguyen M, Calmant S, Jamangulova N, Satylkanov R, Lyard F, Perosanz F, Verron J, Montazem AM, Leguilcher G, Leroux D, Barrie J, Maisongrande P, Bonnefond P (2018) Absolute calibration/validation of the altimeters on Sentinel-3A and Jason-3 over the lake Issykkul. *Remote Sens* 10:1679. <https://doi.org/10.3390/rs10111679>.
- Cretaux J-F, Frappart F, Papa F, Calmant S, Nielsen K, Benveniste J (2017) Hydrological applications of satellite Altimetry rivers, lakes, man-made reservoirs, inundated areas. In: Stammer DC, Cazenave A (eds) *Satellite altimetry over oceans and land surfaces*. Taylor & Francis Group, New York, pp 459–504.
- Da Silva JS, Calmant S, Seyler F, Rotunno Filho OC, Cochonneau G, Mansur WJ (2010) Water levels in the Amazon basin derived from the ERS 2 and ENVISAT radar altimetry missions. *Remote Sensing Environ* 114(10): 2160–2181. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.04.020>.
- FAO (2012) *The state of food and agriculture*. ISSN 0081-4539.
- Fassoni-Andrade A, Fleischmann A, Papa F, Paiva R, Wongchuig S, Melack JM et al (2021) Amazon hydrology from space: scientific advances and future challenges. *Rev Geophys* 59:e2020RG000728. <https://doi.org/10.1029/2020RG000728>.
- Fassoni-Andrade A, Fleischmann A, Papa F, Paiva R, Wongchuig S, Melack JM et al (2021) Amazon hydrology from space: scientific advances and future challenges. *Rev Geophys* 59:e2020RG000728. <https://doi.org/10.1029/2020RG000728>.
- Fekete BM, Looser U, Pietroniro A, Robarts RD (2012) Rationale for monitoring discharge on the ground. *J Hydrometeorol* 13:1977–1986. <https://doi.org/10.1175/jhm-d-11-0126.1>.
- Franks T, Garcés-Restrepo C, Putuhena F (2008) Developing capacity for agricultural water management: current practice and future directions. *Irrig Drain* 57:255–267.
- Frappart F, Calmant S, Cauhopé M, Seyler F, Cazenave A (2006) Preliminary results of ENVISAT RA 2-derived water levels validation over the Amazon basin. *Remote Sens Environ* 100:252–264. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.10.027>.
- Funnell DC (1994) Intervention and indigenous management: the geography of small-scale irrigation development in Morocco and Swaziland. *Land Use Policy* 11(1):45–54.
- Getirana A, Kumar S, Girotto M, Rodell M (2017a) Rivers and floodplains as key components of global terrestrial water storage variability. *Geophys Res Lett* 44:10359–10368. <https://doi.org/10.1002/2017GL074684>.
- Gleason CJ, Durand MT (2020) Remote sensing of river discharge: a review and a framing for the discipline. *Remote Sens* 12(7):1–28. <https://doi.org/10.3390/rs12071107>.
- Good SP, Noone D, Bowen G (2015) Hydrologic connectivity constrains partitioning of global terrestrial water fluxes. *Science* 349:175–177. <https://doi.org/10.1126/science.1257890>.
- Grippa M, Kergoat L, Boone A, Peugeot C, Demarty J, Cappelaere B, Gal L, Hiernaux P, Mougin E, Ducharme A, Dutra E, Hain C, Anderson M, The ALMIP2 Working group Modelling (2017) Surface runoff and water fluxes over contrasted soils in pastoral Sahel: evaluation of the ALMIP2 land surface models over the Gourma region in Mali. *J Hydrometeorol* 18(7). <https://doi.org/10.1175/JHM-D-16-0170.1>.
- Hall JW, Grey D, Garrick D, Fung F, Brown C, Dadson SJ, Sadoff CW (2014) Coping with the curse of freshwater variability: institutions, infrastructure, and information for adaptation. *Science* 346(6208):429–443. <https://doi.org/10.1126/science.1257890>.
- Hanjra MA, Ferde T, Gutta DG (2009b) Reducing poverty in Sub Saharan Africa through investments in water and other priorities. *Agric Water Manag* 96(7):1062–1070.





- Hastenrath S, Nicklis A, Greischar L (1993) Atmospheric-hydrospheric mechanisms of climate anomalies in the western equatorial Indian Ocean. *J Geophys Res* 98:20219–20235.
- Hastie A, Lauerwald R, Ciais P, Papa F, Regnier P (2021) Historical and future contributions of inland waters to the Congo basin carbon balance. *Earth Syst Dyn* 12:37–62. <https://doi.org/10.5194/esd-12-37-2021>.
- Hernegger M, Stecher G, Schwatke C, Olang L (2021) Hydroclimatic analysis of rising water levels in the Great rift Valley lakes of Kenya. *J Hydrol Reg Stud*. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100857>.
- Huang C, Chen Y, Zhang S, Wu J (2018) Detecting, extracting, and monitoring surface water from space using optical sensors: a review. *Rev Geophys* 56:333–360. <https://doi.org/10.1029/2018R G000598>.
- Hubau W, Lewis SL, Phillips OL, Affum-Baffoe K, Beeckman H, Cuní-Sánchez A, Daniels AK, Ewango CE, Fauset S, Mukinzi JM, Sheil D (2020) Asynchronous carbon sink saturation in African and Amazonian tropical forests. *Nature* 579(7797):80–87. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2035-0>.
- Hughes D, Jewitt G, Mahé G, Mazvimavi D, Stisen S (2015) A review of aspects of hydrological sciences research in Africa over the past decade. *Hydrol Sci J* 60(11):1865–1879. <https://doi.org/10.1080/0262667.2015.1072276>.
- Hughes DA, Parsons R, Conrad JE (2007) Quantification of the groundwater contribution to baseflow. *Water Res Comm*.
- Janicot S (1992) Spatio-temporal variability of West African rainfall. *J Clim* 5:489–551.
- Jury MR, Gwazantini E (2002) Climate variability in Malawi, Part 2: sensitivity and prediction of lake levels. *Int J Climatol* 22:1303–1312. <https://doi.org/10.1002/joc.772>, 2002.
- Kao H, Kuo C, Tseng K, Shum CK, Tseng TP, Jia YY, Yang TY, Al TA, Yi Y, Hussain D (2019) Assessment of Cryosat-2 and SARAL/AltiKa altimetry for measuring inland water and coastal sea level variations: a case study on Tibetan Plateau Lake and Taiwan Coast. *Mar Geod* 42:327–343. <https://doi.org/10.1080/01490419.2019.1623352>.
- Khan S, Hanjra MA, Mu J (2009) Water management and crop production for food security in China: a review. *Agric Water Manag* 96(3):349–360.
- Kitambo B, Papa F, Paris A, Tshimanga R, Calmant S, Fleischmann AS, Frappart F, Becker M, Tourian MJ, Prigent C, Andriambeloson J (2021) A combined use of in situ and satellite-derived observations to characterize surface hydrology and its variability in the Congo River Basin. *Hydrol Earth Syst Sci Discuss*. <https://doi.org/10.5194/hess-2021-315>.
- Lee H, Beighley RE, Alsdorf DE, Jung HC, Shum CK, Duan J, Guo J, Yamazaki D, Andreadis K (2011) Characterization of terrestrial water dynamics in the Congo Basin using GRACE and satellite radar altimetry. *Remote Sens Environ* 115:3530–3538. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.015>.
- Manase, Gift (2009) Documentation of Research on Climate Change and Water Resources in Southern Africa. Final Report prepared for the Danish Water Forum (DWF) by the Council for Scientific and Industrial Research (CSIR).
- Marchant R, Mumbi C, Behera S, Yamagata T (2006) The Indian Ocean dipole—the unsung driver of climatic variability in East Africa. *Afr J Ecol* 45(1):4–16. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2028.2006.00707.x>.
- Mati BM (2011) Optimizing agricultural water management for the green revolution in Africa. *Innovations as key to the green revolution in Africa*. Springer, Heidelberg, 83–94. ISBN 978-90 481-2541-8.
- Milly, P.C.D., Dunne, K.A. and Vecchia, A.V. (2005) Global pattern of trends in stream flow and water availability in a changing climate. *Nature* 438(7066): 347–350.
- Mistry V, Conway D (2003) Remote forcing of East African rainfall and relationships with fluctuations in levels of Lake Victoria. *Int J Climatol* 23(1):67–89. <https://doi.org/10.1002/joc.861>.
- Namara R, Munir E, Hanjra A, Castillo GE, Ravnborg HM, Smith L, Van Koppen B (2010) Agricultural water management and poverty linkages. *Agric Water Manag* 97(4):520–527.
- Nicholson SE, Yin X (2002) Mesoscale patterns of rainfall, cloudiness and evaporation over the Great lakes of East Africa. In: *The East African great lakes: limnology, paleolimnology and biodiversity*. Advance in global change research, vol 12. Kluwer Academic Publishers.
- Normandin C, Frappart F, Diepkilé AT, Marieu V, Mougin E, Blarel F, Lubac B, Braquet N, Ba A (2018) Evolution of the performances of radar altimetry missions from ERS-2 to Sentinel-3A over the Inner Niger Delta. *Remote Sens* 10(6):833. <https://doi.org/10.3390/rs10060833>.
- Oki T, Kanae S (2006) Global hydrological cycles and world water resources. *Science* 313(5790):1068–1072. <https://doi.org/10.1126/science.1128845>.
- Papa F, Biancamaria S, Lion C, Rossow WB (2012a) Uncertainties in mean river discharge estimates associated with satellite altimeters temporal sampling intervals: a case study for the annual peak flow in the context of the future SWOT hydrology mission. *IEEE Geosci Remote Sens Lett* 9(4):569–573. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2011.2174958>.
- Pavel Kabat (2003) Climate changes the water rules: How water managers can cope with today's climate variability and tomorrow's climate change. Published in The Netherlands by the Dialogue on Water and Climate; Nature: 106 pp.
- Pavel Kabat (2003) Climate changes the water rules: How water managers can cope with today's climate variability and tomorrow's climate change. Published in The Netherlands by the Dialogue on Water and Climate; Nature: 106 pp.
- Pavel Kabat (2003) Climate changes the water rules: How water managers can cope with today's climate variability and tomorrow's climate change. Published in The Netherlands by the Dialogue on Water and Climate; Nature: 106 pp.
- Prigent C, Lettenmaier DP, Aires F, Papa F (2016) Towards a high resolution monitoring of continental surface water extent and dynamics, at global scale: from GIEMS (Global Inundation Extent from Multi-Satellites) to SWOT (Surface Water Ocean Topography). *Surv Geophys* 37(2):339–355. <https://doi.org/10.1007/s10712-015-9339-x>.
- Ričko M, Birkett CM, Carton JA, Cretaux JF (2012) Intercomparison and validation of continental water level products derived from satellite radar altimetry. *J Appl Remote Sens* 6:061710. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.6.061710>.
- Rodell M, Famiglietti JS, Wiese DN et al (2018) Emerging trends in global freshwater availability. *Nature* 557:651–659. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0123-1>.
- Schumann GP, Bates PD, Horritt MS, Matgen P, Pappenberger F (2009) Progress in integration of remote sensing-derived flood extent and stage data and hydraulic models. *Rev Geophys* 47(4). <https://doi.org/10.1029/2008R G000274>.





- Seddon A, Macias-Fauria M, Long P et al (2016) Sensitivity of global terrestrial ecosystems to climate variability. *Nature* 531:229–232. <https://doi.org/10.1038/nature16986>.
- Stammer D, Cazenave A (2017) *Satellite altimetry over oceans and land surfaces*, 1st edn. Taylor & Francis Group, CRC Press, New York. <https://doi.org/10.1201/9781315151779>.
- Steffen W, Richardson K, Rockström J, Cornell SE, Bennett EM, Biggs R, De Carpenter SR et al (2015) Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. *Science* 347:1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>.
- Stephens GL, Slingo JM, Rignot E, Reager JT, Hakuba MZ, Durack PJ, Worden J, Rocca R (2020) Earth's water reservoirs in a changing climate. *Proc R Soc A* 476:20190458. <https://doi.org/10.1098/rspa.2019.0458>.
- Tarpanelli A, Paris A, Sichangi AW, O'Loughlin F, Papa F (2021) Water resources: Role of earth observations data to hydrodynamic modelling and to derive river discharge. *Sur Geo* submitted (this issue).
- Tierney JE, Russell JM (2007) Abrupt climate change in southeast tropical Africa influenced by Indian monsoon variability and ITCZ migration. *Geophys Res Lett* 34:L15709. <https://doi.org/10.1029/2007GL029508>.
- Trenberth KE, Smith L, Qian T, Dai A, Fasullo J (2007) Estimates of the global water budget and its annual cycle using observational and model data. *J Hydrometeorol* 8:758–769. <https://doi.org/10.1175/JHM600.1>.
- Tshimanga, RM (2022) Two decades of hydrologic modeling and predictions in the Congo River Basin. In: Tshimanga RM, N'kaya GDM, Alsdorf D (eds) *Congo Basin hydrology, climate, and biogeochemistry*. <https://doi.org/10.1002/9781119657002.ch12>.
- Valipour M, Banihabib ME, Behbahani SMR (2012b) Monthly inflow forecasting using autoregressive artificial neural network. *J Appl Sci* 12:2139–2147.
- Valipour M, Banihabib ME, Behbahani SMR (2013) Comparison of the ARMA, ARIMA, and the autoregressive artificial neural network models in forecasting the monthly inflow of Dez dam reservoir. *J Hydrol* 476:433–441.
- Vordzorgbe, S.D. (2003) Managing Water Risks in Africa, Paper presented at the Pan African Implementation and Partnership Conference on Water, 8-13 December.
- Vörösmarty CJ, Green P, Salisbury J, Lammers RB (2000) Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. *Science* 289(5477):284–288. <https://doi.org/10.1126/science.289.5477.284>.
- Vörösmarty CJ, McIntyre PB, Gessner MO, Dudgeon D, Prusevich A, Green P, Glidden S, Bunn SE, Sullivan CA, Reidy Liermann C, Davies PM (2010) Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature* 467:555–561. <https://doi.org/10.1038/nature09440>.
- White LJT, Masudi EB, Ndongo JD, Matondo R, Soudan-Nonault A, Ngomanda A, Averti IS, Ewango CEN, Sonke B, Lewis SL (2021) Congo Basin rainforest—invest US\$150 million in science. *Nature* 598:411–414. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-02818-7>.
- World Food Programme, WFP (2007) Floods across sub-Saharan Africa hit 1.5 million people. Available at: <http://www.wfp.org/stories/floods-across-sub-saharan-africa-hit-15-million-people> (retrieved 16 November 2009).
- Xu CY, Widen E, Halldin S (2005) Modelling hydrological consequences of climate change—progress and challenges. *Adv Atmos Sci* 22(6):789–797. <https://doi.org/10.1007/BF02918679>.





Efficient Recovery of Laccase Enzyme from Mushroom Spent and Its Application in Dye Biodegradation in Wastewater

Ekanayake EMRD¹, Kalamulla KWYR¹, Yapa PN¹

¹Department of Biological Sciences, Faculty of Applied Sciences, Rajarata University of Sri Lanka

Abstract

Environmental pollution caused by synthetic dyes, especially azo dyes, poses significant challenges due to their persistence and toxicity in wastewater. This study aimed to extract and evaluate the laccase enzyme from mushroom spent, an underutilized agricultural waste for its potential in dye biodegradation. Spent substrates from *Pleurotus ostreatus* (Oyster mushroom) and *Agaricus bisporus* (Button mushroom) were collected and processed to extract crude laccase enzyme using sodium acetate buffer under cold conditions. Qualitative screening confirmed the presence of laccase activity, and the extracted crude was tested for its efficiency in degrading bromothymol blue and methyl orange dyes. Among the tested samples, the oyster mushroom spent from Gannoruwa yielded the highest amount of crude enzyme (average 4.18 g per 20 g of spent), whereas the button mushroom spent showed significant dye degradation, achieving up to 48.6% decolorization of bromothymol blue. Notably, the oyster mushroom laccase from Gannoruwa showed promising activity against methyl orange (60.13% degradation), but not bromothymol blue. The study also highlighted the importance of parameters such as pH and temperature in maintaining enzymatic activity, with optimal degradation observed at pH 4.5. These findings suggest that mushroom spent is a viable and sustainable source of laccase for eco-friendly dye wastewater treatment. However, future studies should focus on enzyme purification, activity quantification, and testing with a broader range of dyes for industrial application.

Key Words: Laccase, Mushroom Spent, Dye degradation, Bioremediation, Wastewater Treatment

Introduction

With the rapid growth of global urbanization and industrialization, environmental pollution has become a major problem. The major pollutants which contaminate the environment are pesticides, pharmaceutical compounds, microplastics, endocrine disruptors, organic dyes, and heavy metals, all of which cause soil, water and air pollution. Among these, synthetic organic dyes are emerging as critical aquatic contaminants. Dyes consist of aromatic compounds with aryl rings and delocalized electron systems that enable them to absorb electromagnetic radiation at different wavelengths. Chromophores within the dye molecules facilitate energy transitions in these delocalized electrons, enhancing efficient light absorption (Singh et al., 2020). Consequently, these resilient compounds are extensively utilized across the textile, leather, paper, and cosmetics sectors. Among all organic dyes, azo dyes are widely used in the textile industry due to their cost-effectiveness and broad spectral range (Afrin et al., 2021). Concurrently, sulfonephthalein dyes are heavily exploited for specialized applications, including spectrophotometric determinations, optical sensors, clinical medicine, and industrial manufacturing (Magnaghi et al., 2023).

Despite their industrial utility, synthetic dyes present severe ecological threats. Globally, approximately 70 million tons of synthetic dyes are manufactured annually in the textile sector alone consuming over 10,000 tons (Al-Tohamy et al., 2022). It is estimated that approximately 300,000 tons of synthetic dyes are discharged into wastewater treatment facilities worldwide each year (Halepoto et al., 2022). Up to 15% of the initial chemical dye load is systematically lost during standard industrial processing and routinely released into natural water bodies (Ahlawat & Singh, 2009). Beyond causing severe aesthetic impairment, these highly colored effluents block sunlight penetration into aquatic ecosystems, which significantly diminishes the photosynthetic capacity of aquatic flora and rapidly depletes downstream dissolved oxygen levels (Banat et al., 1996). Furthermore, many of these discharged compounds generate highly toxic breakdown products that are well-documented as mutagenic and carcinogenic (Ahlawat & Singh, 2009).

Conventional remediation strategies primarily rely on physicochemical methodologies, such as electrokinetic coagulation, Fe (II)/Ca (OH)₂ electro-flotation, membrane filtration, precipitation, ozonation, and activated carbon-air mixtures (the Katox process). However, these engineering approaches are restricted by prohibitive operating costs, poor adaptability across diverse dye matrices, and the generation of substantial volumes of secondary sludge. Consequently, attention has shifted toward eco-friendly biological alternatives utilizing the natural biodegradation and biosorption capacities of specialized microorganisms (Khelifi et al., 2010). Spent mushroom compost (SMC) represents an abundant, underutilized lignocellulosic byproduct of the commercial mushroom sector that is traditionally discarded into landfills or used as raw garden fertilizer. This agricultural waste is heavily enriched with active fungal mycelia and robust extracellular enzymes secreted by basidiomycetes





to break down complex structural lignin, cellulose, and hemicellulose into low molecular-weight nutrients (Lim et al., 2013).

Among these extracellular enzymes, laccase (benzenediol: oxygen oxidoreductase, EC 1.10.3.2) stands out as a highly stable, multicopper glycoprotein oxidase (Rodríguez Couto & Toca Herrera, 2006). True laccases possess unique copper atoms in their catalytic centers that enable the enzyme to oxidize a wide range of substrates such as polyphenols, methoxy-substituted phenols, and aromatic diamines via a single-electron transfer process. At the same time, molecular oxygen is reduced directly to water through a four-electron reaction. These include the fact that laccase, unlike peroxidases, does not require the addition or synthesis of a low molecular weight cofactor like hydrogen peroxide, as its co-substrate, oxygen is usually present in its environment (Notes, 2006). Because these enzymes are primarily extracellular and display excellent structural stability, they serve as ideal candidates for the degradation of xenobiotics and persistent environmental pollutants (Rodríguez Couto & Toca Herrera, 2006).

This study aims to efficiently extract crude laccase enzymes from commercial *Pleurotus ostreatus* and *Agaricus bisporus* spent substrates, optimize their extraction dynamics, and systematically evaluate their comparative catalytic efficacy in the biodegradation of target synthetic azo and sulfonephthalein dye matrices in wastewater.

Materials and Methods

Materials

Mushroom spent samples of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) and button mushroom (*Agaricus bisporus*) were chosen as the samples for this study. Spent samples were collected from Gannoruwa agricultural department in Kandy and Greenu agricultural and Organic mushroom farm in Kurunegala district in November -December 2024, from the growers within 14 days after the mushroom harvest. Three subsamples were collected from each species that was grown on the same substrate. From each sample, 250 g of mushroom spent was collected into zip lock bags with proper labeling until transport to the laboratory, Faculty of Applied Sciences, Rajarata University of Sri Lanka.

Methods

Qualitative Screening of Laccase Activity using α -Naphthol test

To preliminarily detect laccase activity, a qualitative plate assay was performed using α naphthol as a chromogenic substrate. A total of 120 mL of Potato Dextrose Agar (PDA) was supplemented with 5 mL of α -naphthol before autoclaving. After sterilization, 20 mL of the medium was poured into each plate. Once the medium solidified, a small mycelial piece (approximately 5 mm in diameter) of the oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) and button mushroom (*Agaricus bisporus*) was aseptically inoculated at the center of the respective plates (Malini, 2011). These Petri plates were incubated at 28–30 °C for 72 hours and then screened for the formation of colored zones around the fungal colonies (Technology, 2025).



Figure 1. Inoculated plate – *Pleurotus ostreatus*



Figure 2. Inoculated plate – *Agaricus bisporus*

Extraction of laccase enzyme from mushroom spent

For enzyme extraction, the spent mushroom compost (SMC) was first dried at 40 °C for 4 hours to effectively reduce its moisture content while preserving the integrity of heat-sensitive enzymes such as laccase. Once fully dried, the material was finely grounded using a grinder and then accurately weighed for extraction. Laccase





activity, similar to that of other extracellular ligninolytic enzymes, typically remains stable within an optimal temperature range of 50–70 °C (Notes, 2006), ensuring its functionality is not compromised during the drying process. For the extraction of laccase, 20 grams of the dried SMC was mixed with sodium acetate buffer at pH 4.5, maintaining a solid-to-liquid ratio of 1:5. The mixture was gently agitated and incubated at 4 °C for a duration of 3 hours to facilitate efficient enzyme extraction while minimizing enzymatic degradation (Lim et al., 2013).



Figure 3. Dried mushroom spent samples.

- a. Oyster mushroom spent sample- Gannoruwa
- b. Button mushroom spent sample- Kurunegala
- c. Oyster mushroom spent sample- Kurunegala

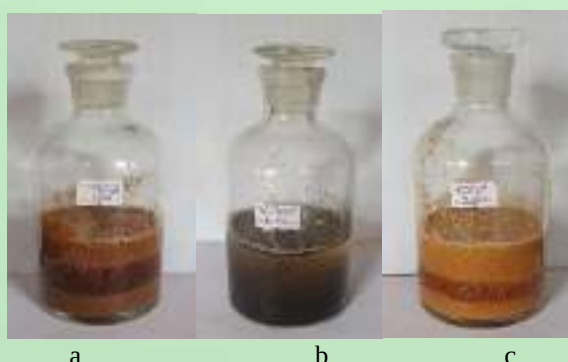


Figure 4. Comparative Visual Analysis of Spent Substrate mixed with Buffer Samples.

- a. Oyster mushroom- Gannoruwa
- b. Button mushroom- Kurunegala
- c. Oyster mushroom- Kurunegala

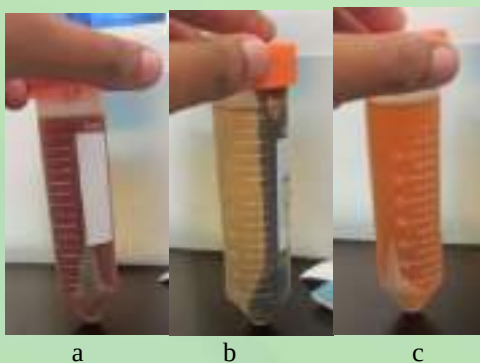


Figure 5. Visual Comparison of Supernatant and Pellet After First Centrifugation of solutions.

- a. Oyster mushroom- Gannoruwa
- b. Button mushroom- Kurunegala
- c. Oyster mushroom- Kurunegala

Purification of laccase

protein precipitation by ammonium sulphate is much more efficient method use in purification of laccase (Shraddha et al., 2011). The remaining purification steps were carried out at 4°C (Chefetz et al., 1998). Centrifugation was done at 10,000 rpm at 4°C for 15 minutes (Supplied et al., 2021) and supernatant was then subjected to ammonium sulfate precipitation (Malini, 2011). Ammonium sulfate saturation to 80% was used for the precipitation process (Asgher et al., 2012). The amounts of solid ammonium sulfate required to reach an 80% saturation were determined using an online calculator (<http://www.encorbio.com/protocols/AM-SO4.htm>) (Wingfield, 2016). After keeping it overnight, the solution was centrifuged again at 6000 rpm for 20 minutes at 4°C. The upper phase of the centrifuged sample was filtered and pellet was dissolved in 5 mL distilled water.





Figure 6. Collected supernatant after first centrifugation

- a. Oyster mushroom- Gannoruwa
- b. Button mushroom- Kurunegala
- c. Oyster mushroom- Kandy



- a. Button mushroom
- b. Oyster mushroom

Figure 7. The supernatants were saturated with 80% ammonium sulfate for protein precipitation

Biodegradation of Azo and sulfonephthalein dyes using extracted laccase enzyme

To test the biodegradation ability of the extracted crude laccase enzyme, calibration plots of bromothymol blue and methyl orange dyes were constructed for quantitative measurements. As an initial step, a 100 mg/L stock solution of each dye were prepared by dissolving 10 mg of the dye in 100 mL of distilled water. From this stock solution, a concentration series of 2.5 mg/L, 5 mg/L, 10 mg/L, 15 mg/L, 20 mg/L, and 25 mg/L was prepared. For each concentration, 20 mL of solution was prepared in small test tubes in duplicate, and the absorbance of each solution was measured at 420 nm.

A calibration plot of mean absorbance versus dye concentration was constructed, and the standard deviation for each data point was calculated and included in the same plot. Subsequently, 0.2 g of crude laccase enzyme extract was added to each duplicate vial containing the dye solutions. After 48 hours of incubation, the absorbance of each solution was measured again at 420 nm using distilled water as the blank. Finally, data reporting and analysis were carried out based on the measured absorbance values and the corresponding dye concentrations.



Figure 8. Serial Dilution of Bromothymol Blue for Absorbance/Indicator Studies



Figure 9. Serial Dilution of Methyl Orange for Absorbance/Indicator Studies





Results

Qualitative Screening of Laccase Activity using α -Naphthol

Upon incubation of the inoculated plates containing Potato Dextrose Agar (PDA) supplemented with α -naphthol, a distinct dark purple coloration developed around the mycelial growth zones of the mushroom samples. Control plates without fungal inoculation remained uniformly unchanged.

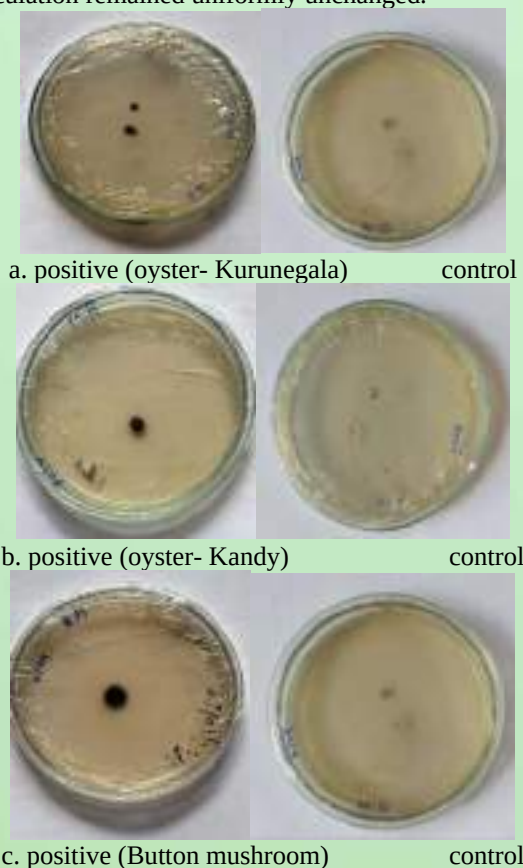


Figure 10. positive and control results of Qualitative Screening of Laccase Activity using α Naphthol

Extraction of laccase enzyme from mushroom spent.

Agaricus bisporus (Button mushroom) from Kurunegala

Table 1 – Yield of the laccase enzyme extracted from *Agaricus bisporus* (Button mushroom) spent- Trial 1

Weight of the empty falcon tube	Falcon tube+ crude	crude
12.084g	12.966 g	0.882g
12.044g	12.715 g	0.671g
12.072g	12.370 g	0.298g

Mass of the crude extracted using 20g of mushroom spent = (0.882g+0.671g+0.298g) =1.851g

Table 2 – Yield of the laccase enzyme extracted from *Agaricus bisporus* (Button mushroom) spent- Trial 2

Weight of the empty falcon tube	Falcon tube+ crude	crude
12.084g	12.292 g	0.208g
12.044g	12.478 g	0.434g
12.072g	12.745 g	0.673g

Mass of the crude extracted using 20g of mushroom spent =(0.208g+0.434g+0.673) =1.315g

$$\text{Average yield} = \frac{\text{crude mass of trial 1} + \text{crude mass of trial 2}}{2}$$

Equation no:1

$$\text{Average yield} = \frac{1.851g + 1.315g}{2} = 1.583g$$

Therefore, the average yield of extract obtained from 20 g of button mushroom compost was 1.583 g.





Figure:11. Enzyme crude extracted by button mushroom spent

Pleurotus ostreatus (Oyster mushroom) from Gannoruwa

Table 3 – Yield of the laccase enzyme extracted from *Pleurotus ostreatus* (Oyster mushroom) spent from Gannoruwa- Trial 1.

Weight of the empty falcon tube	Falcon tube+ crude	crude
12.129g	13.187 g	1.058g
12.102g	13.791 g	1.689g
12.044g	13.523g	1.479g

Mass of the crude extracted using 20g of mushroom spent $= (1.058g + 1.689g + 1.479g) = 4.226g$

Table 4 – Yield of the laccase enzyme extracted from *Pleurotus ostreatus* (Oyster mushroom) spent from Gannoruwa- Trial 2

Weight of the empty falcon tube	Falcon tube+ crude	crude
12.138g	13.132 g	0.994g
12.067g	13.691 g	1.624g
12.033g	13.548g	1.515g

Mass of the crude extracted using 20g of mushroom spent $= (0.994g + 1.624g + 1.515g) = 4.133g$

$$\text{Average yield} = \frac{\text{crude mass of trial 1} + \text{crude mass of trial 2}}{2}$$

$$\text{Average yield} = \frac{4.266g + 4.133g}{2} = 4.1795g$$

Therefore, the average yield of extract obtained from 20 g of Oyster mushroom (Gannoruwa) compost was 4.1795.



Figure:12. Enzyme crude extracted by Oyster mushroom (Gannoruwa) spent

Pleurotus ostreatus (Oyster mushroom) from Kurunegala

Table 5 – Yield of the laccase enzyme extracted from *Pleurotus ostreatus* (Oyster mushroom) spent from Kurunegala- Trial 2

Weight of the empty falcon tube	Falcon tube+ crude	crude
12.249g	13.309g	1.060g
12.741g	13.502g	0.761g
12.514g	13.381g	0.867g

Mass of the crude extracted using 20g of mushroom spent $= (1.060g + 0.761g + 0.867g) = 2.688g$





Table 6 – Yield of the laccase enzyme extracted from *Pleurotus ostreatus* (Oyster mushroom) spent from Kurunegala- Trial 2

Weight of the empty falcon tube	Falcon tube+ crude	crude
12.084g	13.637 g	1.553g
12.044g	12.992 g	0.948g
12.072g	13.741g	1.269g

Mass of the crude extracted using 20g of mushroom spent $= (1.553g + 0.948g + 1.269g) = 3.77g$

$$\text{Average yield} = \frac{\text{crude mass of trial 1} + \text{crude mass of trial 2}}{2}$$

$$\text{Average yield} = \frac{2.688g + 3.77g}{2} = 3.229g$$

Therefore, the average yield of extract obtained from 20 g of Oyster mushroom (Kurunegala) compost was 3.229g.

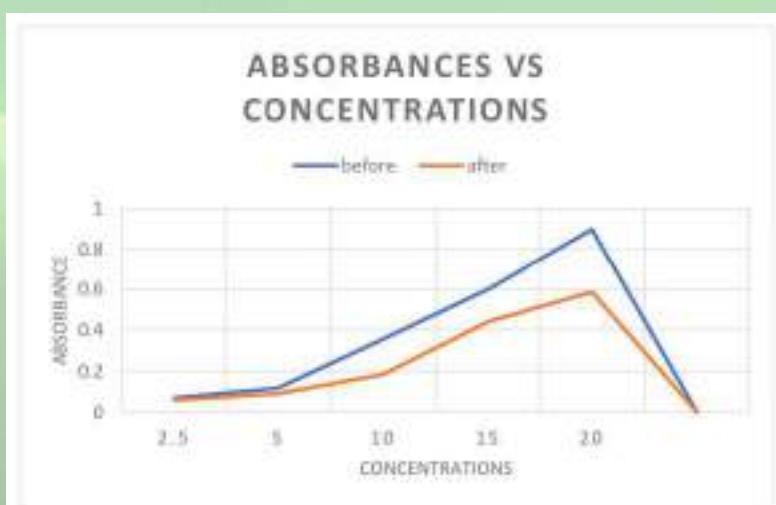


Figure:13. Enzyme crude extracted by Oyster mushroom (Kurunegala) spent

Dye degradation ability of extracted laccase enzymes

Table 7-Testing the dye degradation ability of laccase enzyme extracted from *Agaricus bisporus* (Button mushroom) spent- Dye- Bromothymol blue-Absorbances(420nm)

Concentration (mg/dm ³)	Absorbance before adding the crude	Absorbance after adding the crude	Dye degradation percentage
1.0	0.053	0.049	07.54%
2.5	0.070	0.059	15.71%
5.0	0.117	0.090	23.07%
10.0	0.358	0.184	48.60%
15.0	0.601	0.442	26.45%
20.0	0.898	0.588	34.52%



Graph 1-Absorbances vs Concentrations Before and After adding of Laccase enzyme crude extracted from Button mushroom spent- Dye- Bromothymol blue-Absorbances(420nm)



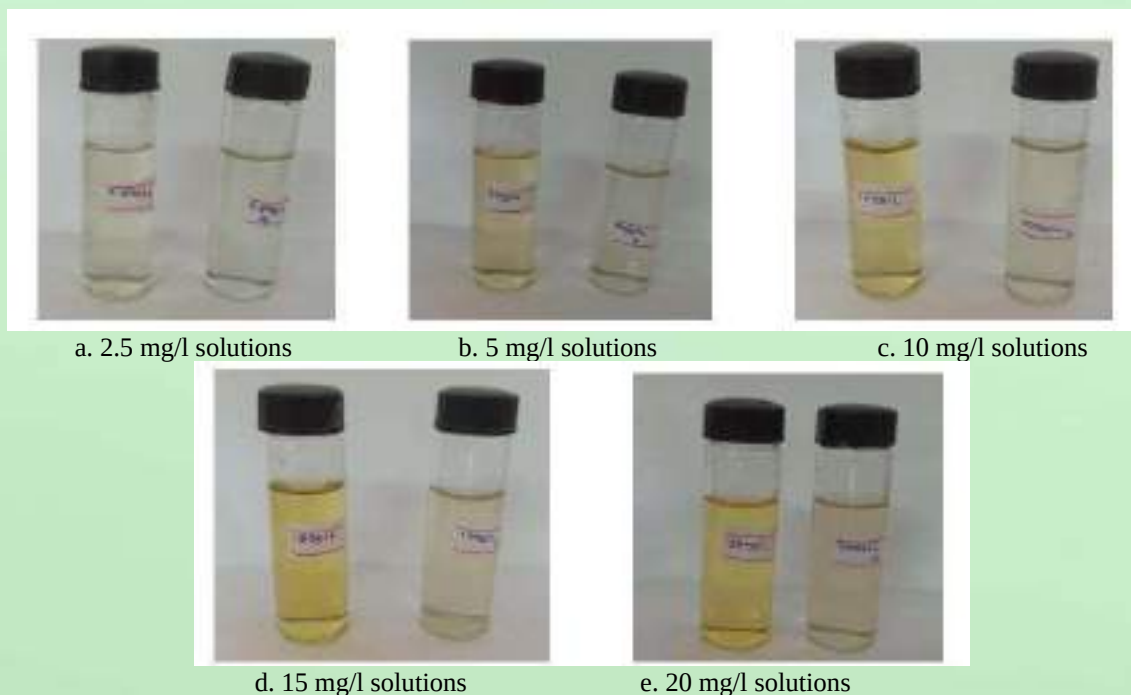
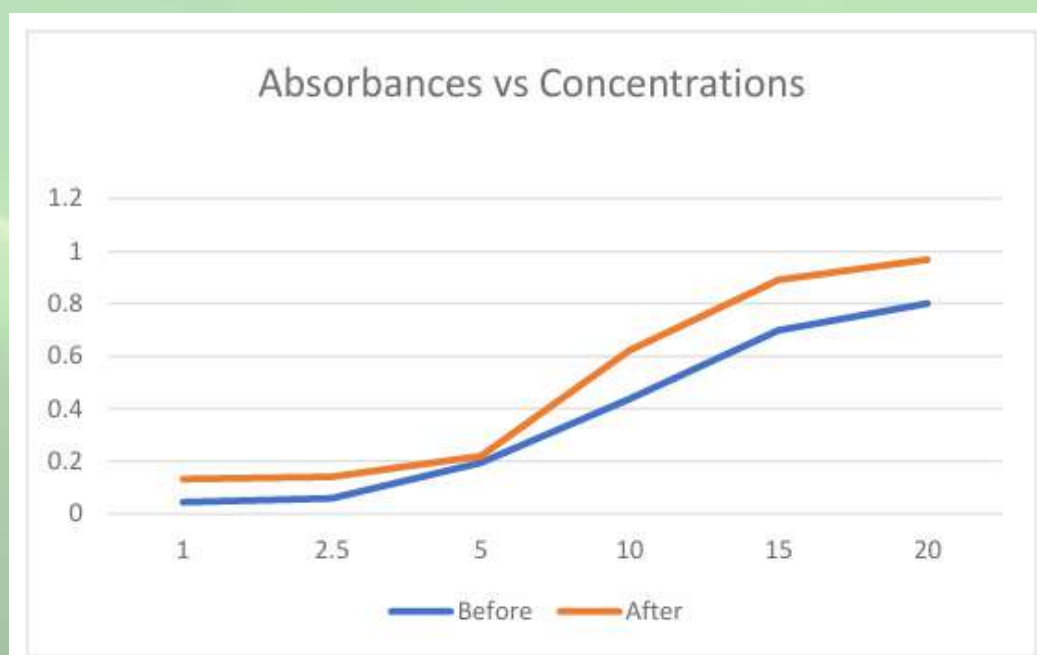


Figure:14. Visual Change in Bromothymol Blue Before and After Laccase Treatment.

Table 8-Testing the dye degradation ability of laccase enzyme extracted from *Pleurotus ostreatus* (Oyster mushroom) spent- Gannoruwa -Dye- Bromothymol blue-Absorbances(420nm)

Concentration (mg/dm ³)	Absorbance before adding the crude	Absorbance after adding the crude
1.0	0.044	0.132
2.5	0.059	0.141
5.0	0.194	0.220
10.0	0.437	0.622
15.0	0.699	0.891
20.0	0.801	0.968



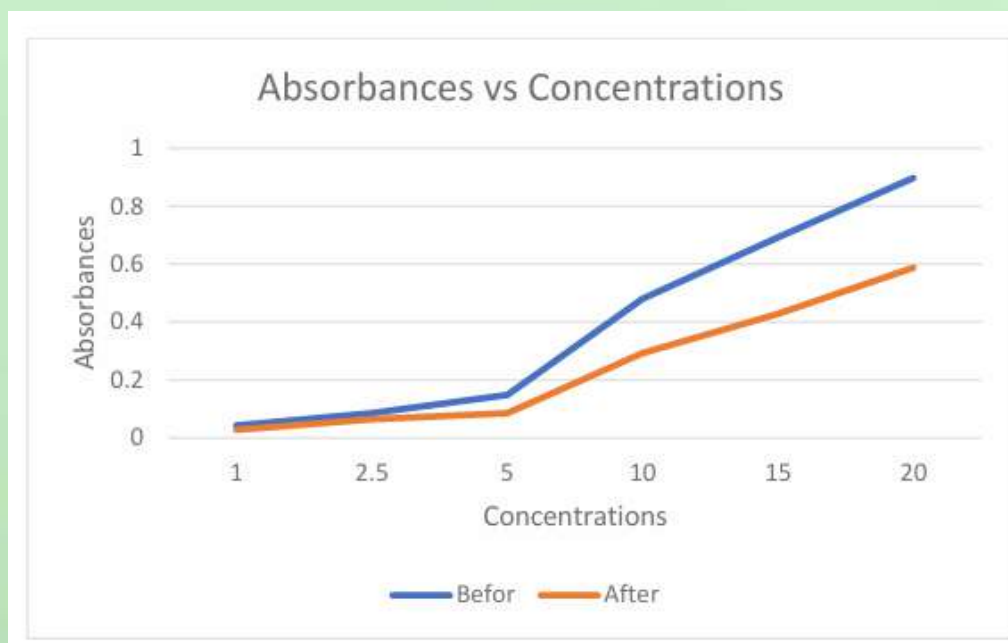
Graph no: 2 Absorbances vs Concentrations Before and After adding of extracted Laccase enzyme crude from Oyster Mushroom spent (Gannoruwa)- Dye- Bromothymol blue-Absorbances(420nm)





Table 9-Testing the dye degradation ability of laccase enzyme extracted from *Pleurotus ostreatus* (Oyster mushroom) spent- Gannoruwa -Dye – Methyl Orange- Absorbances(420nm)

Concentration (mg/dm ³)	Absorbance before adding the crude	Absorbance after adding the crude	Dye degradation percentage
1.0	0.043	0.028	34.88%
2.5	0.085	0.064	24.70%
5.0	0.149	0.086	42.28%
10.0	0.481	0.293	39.08%
15.0	0.693	0.429	38.09%
20.0	0.898	0.588	60.13%



Graph no: 3 Absorbances vs Concentrations Before and After adding of extracted Laccase enzyme crude from Oyster Mushroom spent (Gannoruwa)- Dye- Methyl orange

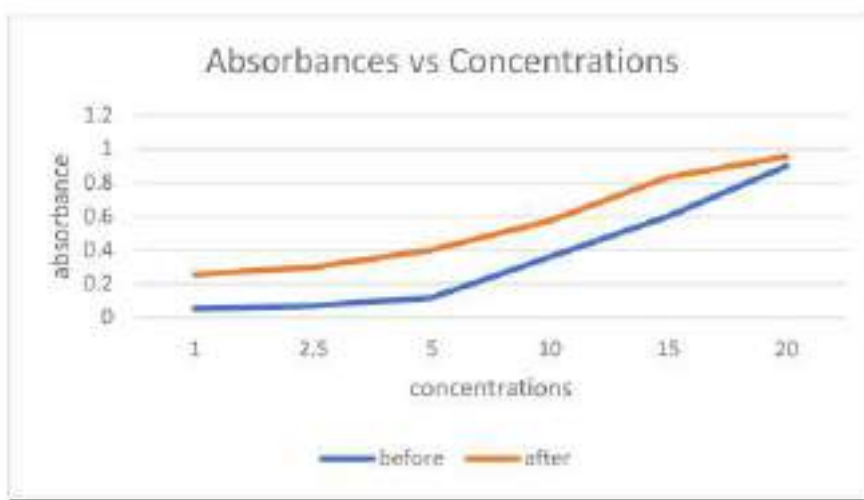


Figure:12. Visual Change in Methyl Orange Before and After Laccase Treatment

Table 10 - Testing the dye degradation ability of laccase enzyme extracted from *Pleurotus ostreatus* (Oyster mushroom) spent- Kurunegala. Dye- Bromothymol blue Absorbances(420nm)

Concentration (mg/dm ³)	Absorbance before adding the crude	Absorbance after adding the crude
1.0	0.053	0.255
2.5	0.070	0.298
5.0	0.117	0.401
10.0	0.358	0.574
15.0	0.601	0.832
20.0	0.898	0.955

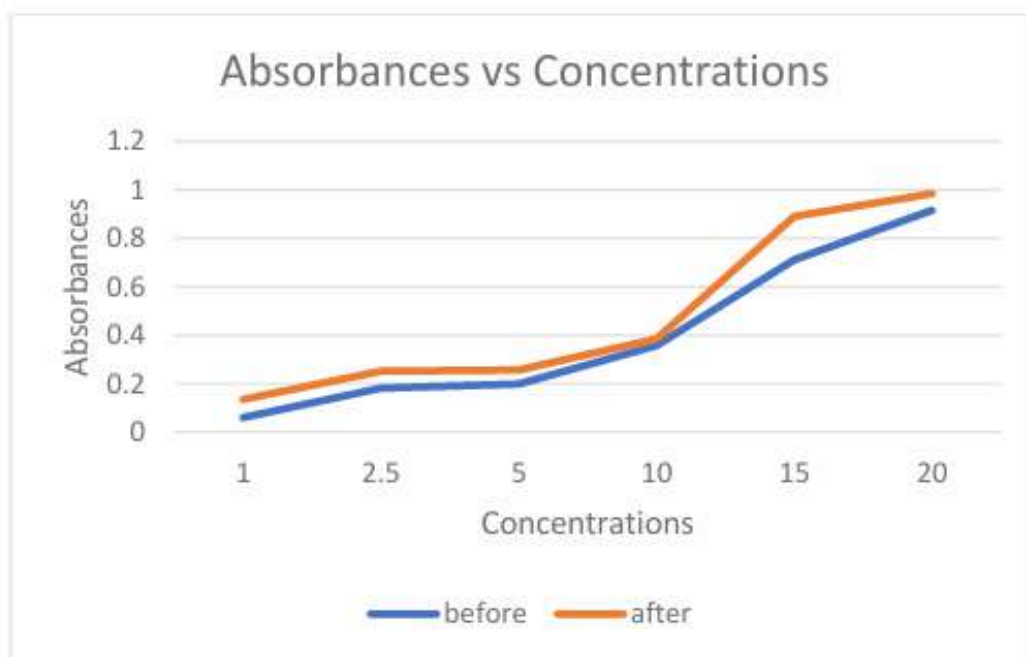




Graph no: 4 Absorbances vs Concentrations Before and After adding of extracted Laccase enzyme crude from Oyster Mushroom spent (Kurunegala)- Dye- Bromothymol blue Absorbances(420nm)

Table 11 - Testing the dye degradation ability of laccase enzyme extracted from *Pleurotus ostreatus* (Oyster mushroom) spent- Kurunegala -Dye- Methyl Orange Absorbances(420nm)

Concentration (mg/dm3)	Absorbance before adding the crude	Absorbance after adding the crude
1.0	0.060	0.135
2.5	0.181	0.252
5.0	0.199	0.257
10.0	0.358	0.384
15.0	0.712	0.891
20.0	0.916	0.985



Graph no: 4 Absorbances vs Concentrations Before and After adding of extracted Laccase enzyme crude from Oyster Mushroom spent (Kurunegala)- Dye- Methyl Orange Absorbances(420nm)





Discussion

Qualitative Screening of Laccase Activity using α -Naphthol

1-Naphthol, or α -naphthol, is an organic compound with the formula C₁₀H₇OH. It is a fluorescent white solid. 1-Naphthol differs from its isomer 2-naphthol by the location of the hydroxyl group on the naphthalene ring. The naphthols are naphthalene homologues of phenol. This compound is commonly used in biochemical assays and as a precursor in dye synthesis (Kulys et al., 2003). Laccase catalyzes the oxidation of α -naphthol (1-naphthol), a phenolic compound, resulting in the formation of a distinct dark purple color. This color change occurs due to the enzymatic removal of an electron from the hydroxyl group of α -naphthol, producing phenoxy radicals. These radicals are unstable and spontaneously undergo coupling reactions, forming dimers, oligomers, and eventually high-molecular-weight polymeric compounds. Some of these products contain conjugated structures such as quinonoid derivatives, which have strong absorbance in the visible light spectrum, particularly around 520–560 nm, giving rise to the purple coloration. The intensity and hue of the color depend on several factors, including pH, substrate concentration, and reaction time.

Extraction of laccase enzyme from mushroom spent

The extraction results revealed notable differences in the crude enzyme yield obtained from various mushroom spents. The Oyster mushroom spent from Gannoruwa produced the highest average yield (4.1795 g per 20 g of spent), followed by the Oyster mushroom spent from Kurunegala (3.229 g). In contrast, the Button mushroom (*Agaricus bisporus*) spent resulted in the lowest crude yield (1.583 g). These yield variations may be influenced by differences in mushroom species, cultivation substrates, and regional growing conditions. The extraction was carried out following a laccase-specific methodology, designed to isolate extracellular laccase enzymes from lignocellulosic spent mushroom compost. However, it is important to note that the extract obtained is still considered crude, and although it is expected to be enriched in laccase, some level of non-target substances or inactive protein residues may still be present. Therefore, while the extraction method targets laccase, the yield values presented here reflect total crude mass, not pure laccase content. Interestingly, despite the higher crude yield observed from oyster mushroom spent, the quantitative yield does not necessarily indicate functional enzyme effectiveness or purity. These aspects are better evaluated through enzyme activity assays and functional tests, which are addressed in subsequent sections. In previous studies, extracted crude laccase was typically quantified and compared by assessing its enzymatic activity using standard substrates such as ABTS. However, due to limited resources, the present study estimated laccase quantity based on biomass measurements instead of activity-based assays. In a previous study by (Chefetz et al., 1998), further reported in the work on *Pleurotus* sp. (PMC3184503), laccase was purified through a multi-step process that included ammonium sulfate precipitation, DEAE-cellulose anion exchange chromatography, and gel filtration using a Sephadex G-100 column. The enzyme was first extracted from the culture filtrate, followed by salting out with ammonium sulfate, dialysis, and lyophilization. Ion exchange chromatography was performed using sodium acetate buffer (pH 4.5) with a NaCl gradient, and active fractions were pooled, concentrated, and further purified by gel filtration. This approach yielded a 72.2-fold purification with a final yield of 22.4%, and the purified laccase showed a single band on SDS-PAGE, indicating homogeneity, with a molecular weight of ~40 kDa. Specific activity increased from 36 U/mg to 2600 U/mg across the purification steps (More et al., 2011). In the study by (Lim et al., 2013), laccase activity was quantified using a standard colorimetric assay based on the oxidation of 2,2'-azinobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS). For this assay, 10 μ L of enzyme extract obtained from spent mushroom compost (SMC) was mixed with 90 μ L of 50 mM sodium acetate buffer (pH 4.5) containing 1 mM ABTS. The mixture was incubated at room temperature, and the reaction was terminated by adding 100 μ L of 20% trichloroacetic acid (TCA). Oxidation of ABTS was monitored by measuring absorbance at 420 nm using a spectrophotometer. One unit of laccase activity was defined as the amount of enzyme required to oxidize 1 μ mol of substrate per minute under assay conditions. Among the three *Pleurotus* species tested, the highest laccase activity was observed in extracts from *P. eryngii* SMC, with a recorded value of 8.01 U/g. This was followed by *P. cornucopiae* (3.77 U/g) and *P. ostreatus* (2.97 U/g). These results highlight significant species-specific differences in enzyme productivity and demonstrate that *P. eryngii* spent compost is particularly rich in ligninolytic enzymes such as laccase. The assay findings further confirmed the potential of SMC as a viable and economical source of industrially relevant enzymes, especially for applications such as dye decolorization and bioremediation. In summary, oyster mushroom spent appears to be a more productive substrate for crude enzyme extraction, but further analysis is necessary to evaluate the specific activity and practical applicability of the extracted enzyme.

Dye degradation ability of extracted laccase enzymes

The dye degradation assays provided critical insights into the functional capability of the laccase enzyme extracts obtained from different mushroom spents. Notably, only the crude enzyme extracted from *Agaricus bisporus* (button mushroom) spent demonstrated significant dye degradation activity against Bromothymol Blue, with degradation percentages ranging from 7.54% to 48.60% depending on the dye concentration. The highest





degradation occurred at 10.0 mg/dm³, suggesting an optimal concentration range for effective enzymatic action. Interestingly, dye degradation percentages were lowest at the 1.0 and 2.5 mg/dm³ concentrations despite using the same volume of crude enzyme. This may be attributed to reduced substrate availability, which limits enzyme-substrate interactions, and to lower measurement sensitivity at very low absorbance values. However, beyond a certain concentration (10 mg/dm³), the trend began to plateau or decline, possibly due to enzyme saturation or feedback inhibition. A previous study reported that after 5 days of spent mushroom substrate (SMS) mixing, dye decolorization was inversely proportional to the initial dye concentration, with nearly 100% decolorization at 25 ppm and only 90% at 150 ppm. The same study noted that in many cases where fungi were used as decolorizing agents, decolorization efficiency tended to be higher at lower dye concentrations, particularly in treatments involving *Pleurotus florida* and *Pleurotus ostreatus* (Singh et al., 2013). However, the results of the present study differ notably from this trend. This opposite pattern may be due to differences in fungal strain efficiency, the composition or activity of enzymes present in the SMS, the specific dye used, or environmental conditions such as pH and temperature. These findings suggest that decolorization behavior can vary significantly depending on the system and highlight the potential of SMS to perform effectively even at higher contaminant loads. While the yield is moderate, the extract demonstrated strong dye degradation ability, confirming that button mushroom spent is a viable and cost-effective substrate for laccase extraction. Optimizing extraction parameters may further improve the yield without compromising activity. In contrast, the crude extracts obtained from *Pleurotus ostreatus* (oyster mushroom) spent from both Gannoruwa and Kurunegala did not demonstrate meaningful dye degradation. Instead of decreasing, absorbance values increased after adding the enzyme extract, suggesting no degradation and possibly even interactions that intensified the dye's color. The observed increase in absorbance could be due to the presence of interfering compounds such as pigments or phenolic residues in the crude extract that absorb light at the same wavelength (420 nm) as the dye, leading to an overestimation of dye concentration. Additionally, the crude extract may contain a high proportion of non-enzymatic substances, dilute the actual enzyme concentration and thereby reduce the dye degradation efficiency. Suboptimal assay conditions such as inappropriate pH, absence of mediators, or unfavorable temperatures may also have contributed to the poor enzymatic activity. These factors highlight the importance of not only assessing crude yield but also evaluating the specific enzymatic activity and optimizing the degradation conditions to accurately determine the effectiveness of the laccase enzyme in dye degradation. Interestingly, while the oyster mushroom spent samples yielded the highest amounts of crude extract (as discussed previously), the functional effectiveness of these extracts in degrading dyes was poor. This disparity underscores a key point: higher crude yield does not necessarily equate to higher enzyme activity. Since the extraction was performed using a laccase-targeted methodology, the presence of other enzymes is unlikely, but the crude nature of the extract means it could still contain non-functional proteins, polysaccharides, or inhibitory compounds that impair laccase function. When testing the dye degradation ability of the same crude extract from Oyster Mushroom spent (Gannoruwa) using Methyl Orange, the absorbance decreased indicating a dye degradation. This positive result suggests that the laccase enzyme present in the oyster mushroom crude extract was effective in breaking down Methyl Orange under the given conditions. Unlike Bromothymol Blue, Methyl Orange has a simpler molecular structure and is more susceptible to oxidative degradation by laccase. This contrast highlights that the enzyme's efficiency can vary depending on the chemical nature of the dye and that Methyl Orange is likely more compatible with the oxidative mechanism of the laccase enzyme extracted from oyster mushroom spent. It has also been stressed that different fungi have varied decolorization potential against chemically different dyes, as supported by findings from previous studies (Ahlawat & Rajor, 2017). It is emphasized that dye decolorization efficiency can vary significantly depending on the chemical structure of the dye. In this study, *Schizophyllum commune* and *Pezizomycotina sp.* were screened on solid agar, both fungi exhibited complete decolorization of Rhodamine B and Methyl Violet 2B, with *S. commune* achieving 100% decolorization on the entire agar plate. However, differences were observed in their decolorization abilities, which were attributed to the structural differences between the two dyes. This highlights that the interaction between fungal strains and dyes is not uniform and that the effectiveness of fungal decolorization is often dye-specific. In the case of the oyster mushroom sample from Kurunegala, the crude extract showed no dye degradation activity, as evidenced by the increase in absorbance values after treatment for both Bromothymol Blue and Methyl Orange dyes. Despite obtaining a moderate crude yield (average of 3.229 g from 20 g of spent mushroom), the enzyme extract failed to reduce the dye concentrations in the solution. This unexpected outcome can be explained by several factors. Firstly, the laccase activity in this particular crude extract may have been very low or completely inactive, possibly due to differences in mushroom strain, growth conditions, or substrate composition in Kurunegala. A higher mass of crude does not guarantee higher enzymatic effectiveness; it could still be rich in non-enzymatic proteins, polysaccharides, or other substances that dilute or interfere with enzyme function. Secondly, the increase in absorbance suggests that the crude extract may contain compounds that absorb at the same wavelength (420 nm), interfering with spectrophotometric measurements and giving the false impression of increased dye concentration. Another possibility is that compounds in the extract interacted with the dyes, altering their structure or causing partial aggregation, which can lead to shifts or increases in absorbance. Finally, suboptimal conditions such as inappropriate pH, temperature, or absence of necessary mediators may have





prevented laccase from acting effectively. These observations highlight the variability in enzyme quality from different mushroom sources and emphasize the need to assess actual enzyme activity, not just crude mass, before using the extract for dye degradation studies.

Effect of Extraction Temperature on Enzyme Activity

In this study, the enzyme extraction was performed at room temperature instead of the commonly recommended 4 °C. The resulting crude extract did not exhibit any observable dye biodegradation activity. This outcome strongly suggests that extraction temperature plays a critical role in maintaining enzyme activity, particularly for sensitive enzymes such as laccase. Enzymes are highly susceptible to denaturation and degradation when exposed to elevated temperatures during extraction and handling. Cold conditions (typically 4 °C) are known to stabilize enzyme structure and reduce the rate of degradation, thereby its preserving activity throughout the extraction process. The lack of dye biodegradation observed in this case emphasizes the importance of maintaining low temperatures during laccase extraction to ensure the enzyme remains active.

Influence of pH on Dye Degradation Activity

The crude enzyme extracted from button mushroom spent was tested for dye decolorization across a range of pH values. Notably, color degradation was observed only at pH 4.5, while no significant decolorization occurred at other tested pH levels. This indicates that the enzymatic activity of the extract is strongly pH-dependent. These findings highlight the importance of optimizing environmental conditions, especially pH, when assessing the dye-degrading potential of crude enzyme extracts. For future studies, maintaining acidic conditions close to the optimal pH is crucial to accurately evaluate the biodegradation efficiency of fungal-derived enzymes. Findings from previous studies have demonstrated that laccase enzymes from the white-rot fungus *Trametes versicolor* typically exhibit optimal activity under mildly acidic conditions and moderate temperatures. For instance, in a study involving partially purified laccase, the enzyme showed maximum activity at pH 5.0 and an optimal temperature of 42.5 °C. Furthermore, the enzyme remained stable within pH range of 4.0–7.0 for the first five hours, retaining over 80% of its activity. Temperature stability tests revealed that the enzyme maintained more than 90% of its activity between 20–40 °C and over 70% even at 50 °C after 48 hours of incubation (Brazkova et al., 2016). Importantly, the optimum pH value can vary depending on the substrate used, as different substrates induce different oxidation reactions for laccase enzymes, which may shift the enzyme's apparent pH optimum in different assays (Shraddha et al., 2011).

Conclusion

The study successfully demonstrated the potential of laccase enzyme extracted from mushroom spent, particularly from *Pleurotus ostreatus* and *Agaricus bisporus*, in the biodegradation of synthetic dyes. Qualitative screening using α -naphthol confirmed laccase activity in both mushroom types. Among the tested samples, oyster mushroom spent from Gannoruwa yielded the highest amount of crude enzyme (4.226g and 4.133g in two trials), suggesting its suitability for enzyme extraction. The dye degradation assays showed promising results, with the button mushroom laccase achieving up to 48.6% degradation of bromothymol blue, and the oyster mushroom laccase from Gannoruwa showing up to 60.13% degradation of methyl orange concentration. However, unexpected increases in absorbance after enzyme treatment were observed in some samples, indicating possible experimental errors, dye-enzyme interactions, or limitations in crude extract purity. These results highlight the importance of standardizing purification and activity assessment protocols. Looking ahead, to improve the scientific validity and practical applicability of the current findings, several key areas should be addressed in future studies. Firstly, the number of experimental replicates should be increased to enhance the statistical reliability and reproducibility of results. Secondly, the crude enzyme extracts should be further purified using methods such as dialysis, chromatography to isolate active laccase and eliminate interfering substances. Additionally, enzyme activity should be quantitatively measured using standard substrates like ABTS (2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), which is commonly used for laccase assays. This would allow for precise comparisons of enzyme activity across different samples and conditions. Future research should also explore the enzyme's performance on a broader range of dyes, including structurally diverse compounds such as azo, anthraquinone, and reactive dyes, to better understand the substrate specificity and potential industrial applications. These improvements will help establish a more comprehensive understanding of laccase-based dye degradation and support its development for effective, eco-friendly wastewater treatment.

Author Contribution Statement

Ekanayake EMRD: Data collection, investigation, methodology, formal analysis, and writing the original draft
Kalamulla KWYR: Project administration, sample collection, supervision, conceptualization, methodology, review and editing

Yapa PN: Project administration, supervision, conceptualization, and review and editing





Acknowledgment

First and foremost, I would like to express my deepest appreciation to my supervisor, Ms. Ruwanthika Kalamulla, for her valuable guidance, support, and insightful feedback throughout this research. Her expertise and encouragement were instrumental in shaping this study. My sincere thanks also go to the Head of the Department, Dr. Neelamani Yapa, for her continuous support and for providing the necessary resources for this project. I am also grateful to other lecturers, demonstrators, and my colleagues for their assistance and support. Additionally, thanks go to the staff of the Zoology, Botany, and Chemistry labs and the staff of the Bio Process Laboratory of faculty of Technology, for their assistance and for providing access to the facilities and equipment essential for this research. Finally, I wish to acknowledge the assistance received during the sample collection process from Gannoruwa agricultural department and Greenu, Global Green Agro pvt. ltd Company, which were crucial for obtaining the mushroom samples used in this study.

References

- Afrin, S., Shuvo, H. R., Sultana, B., Islam, F., Rus'd, A. A., Begum, S., & Hossain, M. N. (2021). The degradation of textile industry dyes using the effective bacterial consortium. *Heliyon*, 7(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08102>
- Ahlawat, O. P., & Rajor, A. (2017). Decolourization of textile dyes by ligninolytic fungi isolated from spent mushroom substrate. *Bull. Env. Phamacol. Life Sci*, 6(5), 53–66.
- Ahlawat, O. P., & Singh, R. (2009). Influence of pH, temperature and cultural media on decolorization of synthetic dyes through spent substrate of different mushrooms. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 68(12), 1068–1074.
- Al-Tohamy, R., Ali, S. S., Li, F., Okasha, K. M., Mahmoud, Y. A. G., Elsamahy, T., Jiao, H., Fu, Y., & Sun, J. (2022). A critical review on the treatment of dye-containing wastewater: Ecotoxicological and health concerns of textile dyes and possible remediation approaches for environmental safety. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 231(February), 1–67. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.113160>
- Asgher, M., Kamal, S., & Iqbal, H. M. N. (2012). Improvement of Catalytic Efficiency, Thermo-stability and Dye Decolorization Capability of *Pleurotus ostreatus* IBL-02 laccase by Hydrophobic Sol Gel Entrapment. *Chemistry Central Journal*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/1752-153X-6-110>
- Banat, I. M., Nigam, P., Singh, D., & Marchant, R. (1996). Microbial decolorization of textile-dye-containing effluents: A review. *Bioresource Technology*, 58(3), 217–227. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(96\)00113-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(96)00113-7)
- Brazkova, M., Mercati, A., Hristova, I., Lante, A., & Krastanov, A. (2016). *Isolation , Purification and Characterization of Laccase from the White-rot Fungus Trametes Versicolor*. March, 155–162.
- Chefetz, B., Chen, Y., & Hadar, Y. (1998). Purification and characterization of laccase from *Chaetomium thermophilum* and its role in humification. *Applied and Environmental Microbiology*, 64(9), 3175–3179. <https://doi.org/10.1128/aem.64.9.3175-3179.1998>
- Halepoto, H., Gong, T., & Memon, H. (2022). Current status and research trends of textile wastewater treatments—A bibliometric-based study. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 1–12. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1042256>
- Khelifi, R., Belbahri, L., Woodward, S., Ellouz, M., Dhoub, A., Sayadi, S., & Mechichi, T. (2010). Decolourization and detoxification of textile industry wastewater by the laccase-mediator system. *Journal of Hazardous Materials*, 175(1–3), 802–808. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.10.079>
- Kulys, J., Vidziunaite, R., & Schneider, P. (2003). Laccase-catalyzed oxidation of naphthol in the presence of soluble polymers. *Enzyme and Microbial Technology*, 32(3–4), 455–463. [https://doi.org/10.1016/S0141-0229\(02\)00342-3](https://doi.org/10.1016/S0141-0229(02)00342-3)
- Lim, S. H., Lee, Y. H., & Kang, H. W. (2013). Efficient recovery of lignocellulolytic enzymes of spent mushroom compost from oyster mushrooms, *Pleurotus* spp., and potential use in dye decolorization. *Mycobiology*, 41(4), 214–220. <https://doi.org/10.5941/MYCO.2013.41.4.214>
- Magnaghi, L. R., Zandoni, C., Alberti, G., & Biesuz, R. (2023). The colorful world of sulfonephthaleins: Current applications in analytical chemistry for “old but gold” molecules. In *Analytica Chimica Acta* (Vol. 1281, Issue November). <https://doi.org/10.1016/j.aca.2023.341807>
- Malini, S. (2011). *Isolation , Purification , and Characterization of Fungal Laccase from*. 1–23. <https://doi.org/10.4061/2011/248735>
- More, S. S., Renuka, P. S., Pruthvi, K., Swetha, M., Malini, S., & Veena, S. M. (2011). Isolation, purification, and characterization of fungal laccase from *Pleurotus* sp. *Enzyme Research*, 2011(1), 1–23. <https://doi.org/10.4061/2011/248735>
- Notes, A. (2006). *Fungal laccases – occurrence and properties* □. 1–109.
- Rodríguez Couto, S., & Toca Herrera, J. L. (2006). Industrial and biotechnological applications of laccases: A review. *Biotechnology Advances*, 24(5), 500–513. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.04.003>
- Shraddha, Shekher, R., Sehgal, S., Kamthania, M., & Kumar, A. (2011). Laccase: Microbial sources, production, purification, and potential biotechnological applications. In *Enzyme Research* (Vol. 2011, Issue 1). <https://doi.org/10.4061/2011/217861>
- Singh, R., Ahlawat, O. P., & Rajor, A. (2020). Ligninolytic Enzyme Production by Microbes and Their Role in Textile Dye Decolorization. *Handbook of Textile Effluent Remediation*, 1, 147–176. <https://doi.org/10.1201/9780429505478-10>
- Singh, R., Ahlawat, O. R., & Rajor, A. (2013). Potential of spent substrate of *Pleurotus sajor-caju* for Methyl violet 2B decolorization. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 7(2), 1099–1106.
- Supplied, M., Condition, S., Required, M., Supplied, N., Preparation, R., & Protocol, A. (2021). *ab284539 – Laccase Activity Assay Kit (Colorimetric)*. 284539, 9–11.
- Technology, E. (2025). *Screening and Production of Extracellular Fungal Laccase from Peniophora Albobdia by Solid State Fermentation with Agro- industrial Waste*. 1–15.
- Wingfield, P. T. (2016). *Protein Precipitation Using Ammonium Sulfate*. 1–14. <https://doi.org/10.1002/0471140864.psa03fs13>





The Effects of Human Development Index Regions on Consumer Preferences and Chicken Meat Consumption Habits

Firdes Kılıç¹, Hasan Eleroğlu², Mesut Türkoğlu³

¹T.C.Tarım ve Orman Bakanlığı, Ankara

²Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Meslek Yüksekokulu, 58140 Sivas, Türkiye

³Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, 06110 Ankara, Türkiye

Abstract

This study aimed to investigate the impact of Human Development Index (HDI) regional group classifications on consumers' poultry product consumption habits. The research material consisted of data obtained from a total of 435 face-to-face surveys conducted with consumers living in Ankara province. Districts were divided into four groups based on the 2017 Human Development Index data: very high, high, medium, and low. Descriptive statistics, along with the Chi-square test, one-way analysis of variance (ANOVA), and Duncan's multiple comparison test, were used in the analysis of the data. According to the research results, there was no statistically significant difference between HDI groups in terms of the share allocated to chicken meat in monthly food expenditures and perceptions regarding chicken meat prices ($P>0.05$). However, significant differences were determined between regions in terms of the way chicken meat is purchased ($P<0.05$).

Key Words: Human Development Index (HDI), Chicken meat consumption, Consumer behavior, Poultry products, Food safety perception

İnsani Gelişme Endeksi Bölgelerinin Tüketici Tercihleri ve Tavuk Eti Tüketim Alışkanlıkları Üzerine Etkileri

Özet

Bu çalışma, insani gelişme endeksi bölge grupları (İGE) sınıflandırmalarının tüketicilerin kanatlı ürünleri tüketim alışkanlıkları üzerindeki etkisini araştırmayı amaçlamıştır. Araştırma materyalini, Ankara ilinde yaşayan tüketicilerle yüz yüze gerçekleştirilen toplam 435 anketten elde edilen veriler oluşturmuştur. İlçeler, 2017 yılı İnsani Gelişme Endeksi verilerine göre çok yüksek, yüksek, orta ve düşük olmak üzere dört gruba ayrılmıştır. Verilerin analizinde tanımlayıcı istatistikler ile birlikte Ki-kare testi, tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, aylık gıda harcamaları içerisinde tavuk etine ayrılan pay ile tavuk eti fiyatlarına ilişkin algılar İGE grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermemiştir ($P>0.05$). Buna karşın, tavuk eti satın alma biçimi bakımından bölgeler arasında anlamlı farklılıklar belirlenmiştir ($P<0.05$).

Anahtar kelimeler: İnsani Gelişme Endeksi (İGE), Tavuk eti tüketimi, Tüketici davranışı, Kanatlı ürünleri, Gıda güvenliği algısı

Giriş

Dünya genelinde tavuk eti üretiminde artış son yirmi yıl içinde devamlılık kazanmış olup, ileride de bu durumun devam etmesi beklenilmektedir. Ayrıca tüketici taleplerinde meydana gelen değişmelere uygun ürünlerin üretimi ve alternatif üretim sistemleri konularında da çalışmalar devam etmektedir. Özellikle ekstansif, yarı entansif, serbest gezinmeli ve organik üretimden elde edilmiş olan ürünlere, bazı tüketiciler daha fazla fiyat ödemeye razı olmaktadır. Daha sağlıklı, doğal ve hayvan refahına uygun olarak üretildiği düşünülen bu ürünlere talep artmaktadır (Sarica ve Yamak 2010).

Gelir ve eğitim düzeyi yüksek olan bazı ülkelerde tüketicilerin, besinlerin sağlıklı yaşam üzerine etkileri konusunda farkındalıkları artmıştır. Özellikle alternatif yetiştirme sistemlerinde (serbest ve organik) üretilen etlik piliç etlerinin doymamış yağ asitleri açısından daha zengin olduğu gereğiyle, daha yüksek fiyata rağmen tüketme eğilimi artmaktadır (Chin ve ark.1992, Gebauer ve ark. 2006).

Bu araştırmada, insani gelişme endeksi bölgelerinin tavukçuluk ürünlerinin tüketimi üzerine etkileri araştırılmıştır.

Materyal ve Yöntem

İnsani Gelişme Endeksi, 1990 yılından beri Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) tarafından ülkeler düzeyinde yayımlanmaktadır. Doğumda beklenen yaşam süresi, kişi başına düşen gelir, okur-yazar ve





okullaşma oranları dikkate alınarak hesaplanan insani gelişme endeksi, gelirin yanında sağlık ve eğitim verileriyle insani gelişmeyi ölçmeye çalışmaktadır. 2017 yılı insani gelişme endeksi araştırmasına temel teşkil edecek verilerin hesaplanmasında yönetim, ekonomik durum, sosyal kapsama, sağlık, eğitim, sosyal yaşam, ulaşım ve belediye çevresel performans olmak üzere 7 ana başlıkta 52 değişken ele alınmıştır. Elde edilen veriler ışığında insani gelişme endeksi ana ve alt boyutlar açısından ilçeler düzeyinde oluşturulan çok yüksek, yüksek, orta ve düşük insani gelişme kategorileri ile kümelendirilmiştir (Şeker ve ark. 2018). Ankara ili ilçeleri için insani gelişme endeksi bölgeleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Ankara ili ilçeleri için insani gelişme endeksi bölgeleri

1.Çok Yüksek İnsani Gelişme Endeksi	2. Yüksek İnsani Gelişme Endeksi	3.Orta İnsani Gelişme Endeksi	4.Düşük İnsani Gelişme Endeksi
Çankaya Keçiören Yenimahalle	Altındağ Etimesgut Sincan Polatlı	Akyurt Gölbaşı Beypazarı Çubuk Kahramankazan Mamak	Çamlıdere Elmadağ Evren Kalecik Nallıhan Pursaklar

İnsani Gelişme Endeksi – İlçeler (İGE-İ) 2017 Tüketiciden İnsana Geçiş (Şeker ve ark. 2018)

2017 yılı insani gelişme endeksi araştırmasının verilerinin derlenmesi aşamasında bazı ilçelerin faaliyet, performans, bütçe raporlarının eksik olması nedeniyle bu ilçeler değerlendirme dışı bırakılmıştır. Ankara da değerlendirme dışı bırakılan ilçeler: Bala, Gündül, Haymana, Kızılcahamam, Şereflikoçhisar, Ayaş’tır (Şeker ve ark. 2018). Anketlerin değerlendirilmesinde, değerlendirme dışı bırakılan ilçeler düşük insani gelişme endeksi bölgesine dahil edilmiştir.

Türkiye ilçeler sıralamasının bir örneği Ankara için de benzer olup, insani gelişme endeksine göre Ankara ilçeleri içerisinde her düzeyde ilçe bulunmaktadır. Bu nedenle Ankara ilinde ikamet eden, tavukçuluk ürünleri tüketimi konusunda tercihleri ve bilgi düzeylerinin belirlenmesi amacıyla tesadüfi olarak seçilen tüketicilerle yüz yüze görüşme yöntemiyle yapılan anketlerden sağlanan veriler araştırmanın materyalini oluşturmuştur.

Araştırmanın örnekleme aşamasında aşağıda belirtilen formülde yararlanılmıştır (Miran 2002).

$$n = \frac{Np(1 - p)}{(N - 1)\sigma_{p_x}^2 + p(1 - p)}$$

Formülde;

n = Örnek hacmi

N = Toplam nüfus

p = Oran (maksimum örnek hacmine ulaşmak için 0.50 alınacaktır)

$\sigma^2_{p_x}$ = Varyansdır.

Toplam 385 adet örnek hacmi bulunmuş ve nüfusa göre ilçelere oransal olarak dağıtılmıştır. Daha sonra anket sayısı 6-10 arasında kalan ilçelerde anketler 10’a, 0-5 arasında kalan ilçelerde 5’e tamamlanmış ve toplam 435 adet anket yapılmıştır.

Tüm istatistiksel analizler SPSS programında yapılmıştır. Çalışmada tüketici anket sorularına verilen cevaplardan sürekli ve kesikli değişkenler için tanıtıcı istatistikler hesaplanarak tablolar halinde sunulmuştur. Araştırmanın sonuçlarının değerlendirilmesinde Ki-Kare bağımsızlık testleri, varyans analizi, Duncan testinden yararlanılmıştır.

Bulgular

Anket katılımcılarının insani gelişme endeksine göre oluşan bölge grupları bazında aylık gıda harcamaları içerisinde tavuk etinin aldığı paylara ilişkin veriler Çizelge 2’de verilmiştir. Buna göre, anket katılımcılarının aylık gıda harcamaları içerisinde tavuk etinin aldığı pay, insani gelişme endeksine göre oluşan bölge gruplarına göre istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılık göstermemektedir ($P>0.05$). Araştırmaya dahil olan katılımcıların insani gelişme endeksi bölge gruplarına göre aylık gıda harcamalarındaki tavuk etine ayırdıkları paylar incelendiğinde;

Tavuk etine %0-15 arası pay ayıran insani gelişme endeksi bölgelerine göre çok yüksek olan grupta %39,9, düşük olan grupta %15,5’dir. Tavuk etine %26-35 arası pay ayıran insani gelişme endeksine göre çok yüksek olan grupta oran %33,3, düşük grupta %11,9’dur.





Çizelge 2. İnsani gelişme endeksi bölgelerine göre aylık gıda harcaması içinde tavuk etinin aldığı pay

Tavuk Etinin Aldığı Pay (%)		İnsani Gelişme Endeksi Bölgeleri				
		Çok Yüksek	Yüksek	Orta	Düşük	Toplam
0-15	n	129	85	59	50	323
	%	39,9	26,3	18,3	15,5	100
16-25	n	34	17	9	10	70
	%	48,6	24,3	12,9	14,3	100
26-35	n	14	11	12	5	42
	%	33,3	26,2	28,6	11,9	100
Toplam	n	177	113	80	65	435
	%	40,70	26,00	18,4	14,9	100

İnsani gelişme endeksine göre oluşan bölge gruplarındaki anket katılımcılarının tavuk eti fiyatları hakkındaki düşüncelerine ait veriler Çizelge 3’de verilmiştir. Anket katılımcılarının tavuk eti fiyatı hakkındaki düşünceleri, insani gelişme endeksi bölgelerine göre istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılık göstermemektedir ($P>0.05$). Araştırmaya katılan bireylerin insani gelişme endeksi bölgelerine göre tavuk eti fiyatları hakkındaki düşüncelerini incelediğimizde, tavuk eti fiyatlarını normal bulan katılımcıların %39,8’i çok yüksek, %27,3’ü yüksek, %19,9’i orta, %13’ü düşük insani gelişme endeksi bölgesindeki bireylerden oluşmaktadır. Tavuk eti fiyatlarını pahalı olarak bulan tüketicilerin %46,1’i çok yüksek, %23,5’i yüksek, %14,7’si orta ve %15,7’sinin düşük insani gelişme endeksi bölgesindeki bireylerden oluştuğu görülmektedir.

Çizelge 3. İnsani gelişme endeksi bölgelerine göre bireylerin tavuk eti fiyatları hakkındaki düşünceleri

Tavuk Eti Fiyatı		İnsani Gelişme Endeksi Bölgeleri				
		Çok Yüksek	Yüksek	Orta	Düşük	Toplam
Çok Ucuz- Ucuz	n	19	11	9	5	44
	%	43,2	25	20,5	11,4	100
Normal	n	92	63	46	30	231
	%	39,8	27,3	19,9	13	100
Pahalı	n	47	24	15	16	102
	%	46,1	23,5	14,7	15,7	100
Çok Pahalı	n	8	10	6	7	31
	%	25,8	32,3	19,4	22,6	100
Fikrim Yok	n	11	5	4	7	27
	%	40,7	18,5	14,8	25,9	100
Toplam	n	177	113	80	65	435
	%	40,7	26	18,4	14,9	100

Çizelge 4. İnsani gelişme endeksi bölgelerine göre kırmızı veya beyaz et tercihinde etkili olan faktörler

Faktör	İnsani Gelişme	N	Ortalama	F	P
Fiyat	Çok Yüksek	177	1,69	0,522	0,667
	Yüksek	113	1,73		
	Orta	80	1,75		
	Düşük	65	1,46		
Lezzet	Çok Yüksek	177	1,78	0,636	0,592
	Yüksek	113	1,66		
	Orta	80	1,55		
	Düşük	65	1,55		
Protein Değeri	Çok Yüksek	177	1,78	1,021	0,383
	Yüksek	113	1,70		
	Orta	80	1,70		
	Düşük	65	1,38		
Alışkanlık	Çok Yüksek	177	1,96	1,005	0,39
	Yüksek	113	1,59		
	Orta	80	1,80		
	Düşük	65	1,75		
Özel Bir Neden Yok	Çok Yüksek	177	1,50	0,643	0,588
	Yüksek	113	1,47		
	Orta	80	1,63		
	Düşük	65	1,15		





Tüketicilerin kırmızı/beyaz et tercihinde etkili olan faktörlerin insani gelişme endeksi bölgelerine göre analizine ilişkin sonuçlar Çizelge 4’de verilmektedir. Analiz sonuçlarına göre üzerinde durulan fiyat, lezzet, protein değeri, alışkanlık, özel bir nedeni yok faktörleri bakımından insani gelişme endeksi bölgelerine göre farklılıklar önemli bulunmamıştır ($P>0,05$).

İnsani gelişme endeksi bölgeleri bakımından parçalanmış tavuk eti tüketimine yönelik soruya verilen cevapların analizi Çizelge 5’de yer almaktadır. Bireylerin tavuk eti tercihleri insani gelişme endeksi bölgeleri bakımından anlamlı farklılık göstermektedir ($P<0,05$). Buna göre, bütün tavuk tüketimi açısından düşük insani gelişme endeksi bölgesi ile çok yüksek, yüksek ve orta gelişme endeksi bölgeleri arasında anlamlı farklılık bulunmaktadır. Verilen cevaplar incelendiğinde anket katılımcılarının tavuk/piliç eti satın alma biçiminde %32,2 oran ile ‘Bütün’ cevabı öne çıkmaktadır.

Çizelge 5. İnsani gelişme endeksi bölgelerine göre bireylerin parçalanmış tavuk eti tercihleri

Tavuk / Piliç Eti Satın Alma Biçimi		İnsani Gelişme Endeksi Bölgeleri				Total
		Çok Yüksek	Yüksek	Orta	Düşük	
Tüketmiyoruz	n	5 _a	1 _a	1 _a	3 _a	10
	%	50,0	10,0	10,0	30,0	100,0
Bütün	n	45 _a	40 _a	22 _a	33 _b	140
	%	32,1	28,6	15,7	23,6	100,0
But	n	29 _{a, b}	18 _{a, b}	21 _b	7 _a	75
	%	38,7	24,0	28,0	9,3	100,0
Göğüs	n	23 _a	26 _b	9 _a	5 _a	63
	%	36,5	41,3	14,3	7,9	100,0
Kanat	n	11 _a	7 _{a, b}	11 _{b, c}	10 _c	39
	%	28,2	17,9	28,2	25,6	100,0
Birden Fazla Ürün Tercih Edenler	n	64 _a	21 _b	16 _b	7 _b	108
	%	59,3	19,4	14,8	6,5	100,0
Toplam	n	177	113	80	65	435
	%	40,7	26,0	18,4	14,9	100,0

Aynı satırdaki farklı harfler istatistik bakımdan önemlidir ($P<0,05$).

Tartışma ve Sonuç

Anket katılımcılarının insani gelişme endeksine göre oluşan bölge grupları bazında aylık gıda harcamaları içerisinde tavuk etinin aldığı pay istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılık göstermemektedir ($P>0,05$). Gül ve Şahin (1998), Yıldırım ve Yalçınkaya (1999), Büyüknisan (2008) ailelerin gelirlerinin artmasıyla tavuk eti tüketimlerinde artış meydana geldiği saptamışlardır. Bircan ve ark. (2017) ve Eleroğlu ve ark. (2018) tavuk eti tüketimine meslek grupları, aile gelir seviyesi ve aile birey sayısının etkili olduğu belirtmişlerdir.

Anket katılımcılarının tavuk eti fiyatı hakkındaki düşünceleri, insani gelişme endeksi bölgeleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık göstermemektedir ($P>0,05$).

‘Fiyat, lezzet, protein değeri, alışkanlık, özel bir nedeni yok’ tüketicilerin kırmızı/beyaz et tercihinde incelenen faktörler olup insani gelişme endeksi bölgelerine göre farklılıklar önemli bulunmamıştır. ($P>0,05$).

Bireylerin tavuk eti tercihleri ile ilgili olarak insani gelişme endeksi bölgeleri bakımından anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($P<0,05$). Buna göre, bütün tavuk tüketimi açısından düşük insani gelişme endeksi bölgesi ile çok yüksek, yüksek ve orta gelişme endeksi bölgesi arasında anlamlı farklılık bulunmaktadır. Anket katılımcılarının tavuk/piliç eti satın alma biçiminde %32,1 oran ile ‘Bütün’ cevabı öne çıkmaktadır. İnci ve ark. (2014), tüketicilerin %44,5’inin tavuk etini bütün olarak satın almayı tercih ettiklerini tespit etmişlerdir.

Öneriler

- Düşük insani gelişme endeksi bölgelerinde ‘bütün’ tavuk tüketiminin daha yaygın olması dikkate alınarak uygun fiyatlı ve ekonomik paket alternatifleri geliştirilebilir.
- Farklı insani gelişme endeksi bölgelerinde tavuk eti tercihlerini etkileyen sosyoekonomik ve kültürel faktörler daha ayrıntılı araştırılmalıdır.
- Farklı coğrafi bölgelerde daha geniş örneklem gruplarıyla gerçekleştirilecek çalışmalarla tavuk eti tüketim alışkanlıkları karşılaştırmalı olarak incelenmelidir.





Beyanlar

Tezden Üretim: Bu bildiri, birinci yazarın doktora tezinden üretilmiştir.

Yazar Katkıları: Birinci yazar çalışmanın tasarımı oluşturmuş, verilerinin toplanmasını gerçekleştirmiş, istatistiksel analizleri yapmış ve makalenin yazımını tamamlamıştır.

İkinci yazar (tez jüri üyesi) çalışmanın yorumlanması aşamasında bilimsel katkı sunmuş, veri analiz sürecini denetlemiş ve makalenin son hâlini gözden geçirerek onaylamıştır.

Üçüncü yazar (tez danışmanı) araştırmanın yöntemsel kurgusuna katkı sağlamış ve makalenin bilimsel içeriğini eleştirel olarak değerlendirmiştir.

Etik Kurul Onayı: Anket uygulamasına ilişkin etik kurul onayı Ankara Üniversitesi Etik Kurulu'ndan (Tarih: 24.07.2017 Karar No:213) alınmıştır.

Finansman: Bu çalışma için herhangi bir kamu, ticari veya kâr amacı gütmeyen kuruluştan finansal destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışması: Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Özgünlük Beyanı: Bu çalışma daha önce yayımlanmamış olup, eş zamanlı olarak başka bir dergiye gönderilmemiştir.

Kaynaklar

- Bircan, H., Eleroğlu, H., Arslan, R. 2017. Sivas Kent Merkezinde Tavukçuluk Ürünlerinin Tüketimi ve Tüketime Etki Eden Faktörler. Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5(12): 1609-1614.
- Büyüknisan O. 2008. Adana İli Kentsel Alanda Tavuk Eti Tüketim Yapısı, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Ekonomisi Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Chin, S.F., Liu, W., Storkson, J.M., Ha, Y.L., Pariza, M.W. 1992. Dietary sources of conjugated dienoic isomers of linoleic acid, a newly recognized class of anticarcinogens. J Food Compos Anal, 5 (3): 185-197.
- Eleroğlu, H., Bircan, H., Arslan, R. 2018. Yozgat İl Merkezinde Yumurta ve Tavuk eti Tüketimi Üzerine Etki Eden Faktörler. Tavukçuluk Araştırma Dergisi, Cilt 15, Sayı 1, 29 – 33.
- Gebauer, S.K., Psota, T.L., Harris, W.S., Kris-Etherton, P.M. 2006. N-3 Fatty Acid Dietary Recommendations And Food Sources To Achieve Essentiality And Cardiovascular Benefits. Am J Clin Nutr, 83 (6): 1526S-1535S.
- Gül, A., Şahin, K. 1998. Adana İlinde Ailelerin Tavuk Eti Alım Ve Tüketimi Üzerine Bir Araştırma. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, Sayı:1, Adana.
- İnci, H., Karakaya, E., Şengül, T., Söğüt, B. 2014. Bingöl İlinde Kanatlı Eti Tüketiminin Yapısı. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 1:17-24.
- Miran, B. 2002. Temel İstatistik. E.U. Matbaası.
- Sarıca, M., Yamak, U. S. 2010. Yavaş Gelişen Etlik Piliçlerin Özellikleri ve Geliştirilmesi. Anadolu Tarım Bilim. Derg., 25(1):61-67.
- Şeker, M., Bakış, Ç., Dizeci, B. 2018. İnsani Gelişme Endeksi – İlçeler (İGE-İ) 2017 Tüketiciden İnsana Geçiş. Sertifika No/34794, Yayın No/3, ISBN 978-605-67151-2-9, İstanbul
- Yıldırım, İ., Yalçınkaya, O. (1999). Tavuk eti tüketim yapısı: Van ili Erciş ilçesi örneği. Uluslararası Hayvancılık Kongresi, 417-421.





The Effect of Income Level on Poultry Product Consumption

Firdes Kılıç¹, Mesut Türkoğlu², Hasan Eleroğlu³

¹T.C.Tarım ve Orman Bakanlığı, Ankara

²Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, 06110 Ankara, Türkiye

³Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Meslek Yüksekokulu, 58140 Sivas, Türkiye

Abstract

This study investigated the impact of income levels on chicken meat consumption preferences, purchasing behaviors, and consumption quantities of consumers living in Ankara. The study material consisted of data obtained from face-to-face surveys conducted with 435 consumers selected using a random sampling method. The data were analyzed using SPSS software; descriptive statistics, Chi-Square independence test, analysis of variance (ANOVA), and Duncan test were applied. According to the findings, statistically significant relationships were found between income groups and the share of chicken meat in monthly food expenditures, as well as perceptions of chicken meat prices ($P<0.05$). In conclusion, it was shown that income level is a significant determinant of chicken meat prices.

Key Words: *Income level, chicken consumption, consumer behavior, purchasing preferences*

Gelir Düzeyinin Kanatlı Ürünleri Tüketimi Üzerindeki Etkisi Özet

Bu araştırmada, Ankara ilinde yaşayan tüketicilerin gelir düzeylerinin tavuk eti tüketim tercihleri, satın alma davranışları ve tüketim miktarları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmanın materyalini, tesadüfi örnekleme yöntemiyle belirlenen 435 tüketici ile yüz yüze gerçekleştirilen anketlerden elde edilen veriler oluşturmaktadır. Veriler SPSS programında analiz edilmiş; tanımlayıcı istatistikler, Ki-Kare bağımsızlık testi, varyans analizi (ANOVA) ve Duncan testi uygulanmıştır. Bulgulara göre, gelir grupları ile aylık gıda harcamaları içinde tavuk etinin payı, tavuk eti fiyat algısı bakımından istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler tespit edilmiştir ($P<0,05$). Sonuç olarak, gelir düzeyinin tavuk eti fiyatı üzerinde önemli bir belirleyici olduğu ortaya konulmuştur.

Anahtar kelimeler: *Gelir düzeyi, tavuk eti tüketimi, tüketici davranışı, satın alma tercihleri*

Giriş

Sanayileşme ile birlikte özellikle gelişmiş toplumlar, diğer gıdalarda olduğu gibi aldığı etin de üretim koşullarını ve kalitesini sorgulamaktadırlar (Öziş Altınçekiç ve Koyuncu 2013). Bu anlayışın bir sonucu olarak dünyada yetiştirme sistemleri giderek artan bir öneme sahip olmaktadır.

Gelir ve eğitim düzeyi yüksek olan bazı ülkelerde tüketicilerin, besinlerin sağlıklı yaşam üzerine etkileri konusunda farkındalıkları artmıştır. Özellikle alternatif yetiştirme sistemlerinde (serbest ve organik) üretilen etlik piliç etlerinin doymamış yağ asitleri açısından daha zengin olduğu gereğiyle, daha yüksek fiyata rağmen tüketme eğilimi artmaktadır (Chin ve ark.1992, Gebauer ve ark. 2006).

Toplumların gelişme ve gelir seviyelerindeki artışlar beslenme alışkanlıklarında da değişikliklere neden olmaktadır. Daha önce tükettikleri ürünlerde tazelik ve hijyeni önemseyen toplumlar, son yıllarda ürünlerin niteliği konusunda da duyarlılık göstermeye başlamışlardır. Bilinçli tüketiciler, çevreyle dost ve sürdürülebilir yöntemlerle üretilmekte olan ürünlerin daha sağlıklı olduğundan risk oluşturmadığını düşünmektedirler (Başak vd. 2015).

Beslenme alışkanlıkları; gelenekler, çevre şartları ve gelire bağlı olarak değişmektedir. Pazarlama ve üretim taktik ve stratejilerinin merkezinde yer alan tüketicilerin gıda ürünleri talep ve tüketim ihtiyaçlarına dayalı beslenme alışkanlıkları; ürünlerin nitelikleri, tüketici pazarlarının demografik ve ekonomik özellikleri ve tüketicilerin sosyokültürel, psikolojik ve kişisel faktör niteliklerine bağlı olarak değişebilen bir süreci kapsamaktadır (Kotler ve Armstrong 2004, Mucuk 2010, Topcu 2015, Topcu ve ark. 2015). Tüketicilerin sosyo-ekonomik ve demografik yapılarındaki değişim, tüketim alışkanlıklarını da yansıtmaktadır (Armağan ve Özdoğan 2005).

Bu araştırmada, gelir düzeyinin tavukçuluk ürünlerinin tüketimi üzerine etkileri araştırılmıştır.





Materyal ve Yöntem

Ankara ilinde ikamet eden, tavukçuluk ürünleri tüketimi konusunda tercihleri ve bilgi düzeylerinin belirlenmesi amacıyla tesadüfi olarak seçilen tüketicilerle yüz yüze görüşme yöntemiyle yapılan anketlerden sağlanan veriler araştırmanın materyalini oluşturmuştur.

Araştırmanın örneklemeinde aşağıda belirtilen formülden yararlanılmıştır (Miran 2002).

$$n = \frac{Np(1-p)}{(N-1)\sigma_{\hat{p}_x}^2 + p(1-p)}$$

Formülde;

n = Örnek hacmi

N = Toplam nüfus

p = Oran (maksimum örnek hacmine ulaşmak için 0.50 alınacaktır)

$\sigma^2_{\hat{p}_x}$ = Varyansdır.

Toplam 385 adet örnek hacmi bulunmuş ve nüfusa göre ilçelere oransal olarak dağıtılmıştır. Daha sonra anket sayısı 6-10 arasında kalan ilçelerde anketler 10'a, 0-5 arasında kalan ilçelerde 5'e tamamlanmış ve toplam 435 adet anket yapılmıştır.

Anket katılımcılarının hanelerine giren ortalama aylık gelir dağılımı Çizelge 1' de verilmiştir. Araştırmaya katılan kişilerin haneye ait aylık toplam gelirleri incelendiğinde, yaklaşık % 38'inin geliri 5.500 TL üzerindedir. Elde edilen bulgulara göre, asgari ücret altı -2500 aralığında geliri olanlar % 20.2 oranındadır.

Çizelge 1. Haneye giren aylık ortalama gelir (TL)

Gelir Grupları	Adet	Oran(%)
Asgari ücret altı -2500	88	20.2
2501-4500	121	27.8
4501-5500	61	14.0
5500+	165	37.9
Toplam	435	100.0

Tüm istatistiksel analizler SPSS programında yapılmıştır. Çalışmada tüketici anket sorularına verilen cevaplardan sürekli ve kesikli değişkenler için tanıtıcı istatistikler hesaplanarak tablolar halinde sunulmuştur. Araştırmanın sonuçlarının değerlendirilmesinde Ki-Kare bağımsızlık testleri, varyans analizi, duncan testinden yararlanılmıştır.

Bulgular

Anket katılımcılarının gelir dağılımlarına göre aylık gıda harcamaları içerisinde tavuk etinin aldığı paylara ilişkin veriler Çizelge 2'de özetlenmiştir. Gelir gruplarına göre anket katılımcılarının aylık gıda harcamaları içerisinde tavuk etinin aldığı pay, istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılık göstermektedir ($P<0.05$). Buna göre, asgari ücret altı-2500 aralığında gelir grubundaki anket katılımcılarının aylık gıda harcamaları içerisinde tavuk etinin aldığı pay % 0-15 aralığında, 2501-4500 gelire sahip olan anket katılımcılarından anlamlı biçimde farklıdır. Aylık gıda harcamaları içerisinde tavuk etinin aldığı pay % 0-15 aralığında olan anket katılımcılarının % 23.5'i asgari ücret altı-2500 aralığında gelir düzeyine sahipken % 22.9'u 2501-4500 aralığında gelir düzeyine sahiptir. Ayrıca, yapılan analizlerde anket katılımcılarının aylık gıda harcamaları içerisinde tavuk etinin aldığı pay % 16-25 aralığında asgari ücret altı-2500, 2501-4500, 5500 üzeri gelire sahip olan anket katılımcıları arasındaki fark anlamlı bulunmuştur ($P<0.05$).

Anket katılımcılarının gelir gruplarına göre tavuk eti fiyatları hakkındaki düşüncelerine ait veriler Çizelge 3'de verilmiştir. Buna göre, anket katılımcılarının tavuk eti fiyatı hakkındaki düşünceleri, gelir grupları yönünden istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılık göstermektedir ($P<0.05$). Yapılan analiz sonuçlarına göre, asgari ücret altı-2500 arası gelir grubu ile 5500 üzeri gelir grubundaki bireylerin tavuk eti fiyatları hakkındaki düşünceleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmaktadır. Tavuk eti fiyatlarının 'çok ucuz-ucuz' olduğunu düşünenlerin içinde asgari ücret altı-2500 arası gelir grubundakilerin oranı % 9.1 iken, 5500 üzeri gelir grubundakilerin oranı %47.7 olarak gerçekleşmiştir.





Çizelge 2. Gelir gruplarına göre aylık gıda harcaması içinde tavuk etinin aldığı pay

Tavuk Etinin Aldığı Pay (%)		Gelir Grupları				Toplam
		Asgari ücret altı-2500	2501-4500	4501-5500	5500 üzeri	
0-15	n	76 _a	74 _b	44 _{b, c}	129 _{a, c}	323
	%	23.5	22.9	13.6	39.9	100.0
16-25	n	4 _a	32 _b	12 _{b, c}	22 _c	70
	%	5.7	45.7	17.1	31.4	100.0
26-35	n	8 _a	15 _a	5 _a	14 _a	42
	%	19.0	35.7	11.9	33.3	100.0
Toplam	n	88	121	61	165	435
	%	20.2	27.8	14.0	37.9	100.0

Aynı satırdaki farklı harfler istatistik bakımdan önemlidir (P<0.05).

Çizelge 3. Gelir gruplarının tavuk eti fiyatları hakkındaki düşünceleri

Tavuk Eti Fiyatı		Gelir Grupları				Toplam
		Asgari ücret altı-2500	2501-4500	4501-5500	5500+	
Çok ucuz-	n	4 _a	12 _{a, b}	7 _{a, b}	21 _b	44
Ucuz	%	9,1	27,3	15,9	47,7	100,0
Normal	n	38 _a	75 _b	33 _{a, b}	85 _{a, b}	231
	%	16,5	32,5	14,3	36,8	100,0
Pahalı	n	27 _a	23 _a	15 _a	37 _a	102
	%	26,5	22,5	14,7	36,3	100,0
Çok Pahalı	n	10 _a	9 _a	2 _a	10 _a	31
	%	32,3	29,0	6,5	32,3	100,0
Fikrim Yok	n	9 _a	2 _b	4 _{a, b}	12 _a	27
	%	33,3	7,4	14,8	44,4	100,0
Toplam	n	88	121	61	165	435
	%	20,2	27,8	14,0	37,9	100,0

Aynı satırdaki farklı harfler istatistik bakımdan önemlidir (P<0.05).

Tüketicilerin kırmızı/beyaz et tercihinde etkili olan faktörlerin gelir durumuna göre analizine ilişkin sonuçlar Çizelge 4’de verilmektedir. Analiz sonuçlarına göre üzerinde durulan faktörlerden alışkanlık faktörü bakımından gelir durumları açısından elde edilen farklılıklar önemli bulunmuştur (P<0,05). Alışkanlık faktörü açısından en düşük değerler asgari ücret altı -2500 arası gelir grubu için hesaplanmıştır.

Çizelge 4. Gelir durumuna göre kırmızı veya beyaz et tercihinde etkili olan faktörler

Faktör	Gelir Grubu	N	Ortalama	F	P
Fiyat	Asgari ücret altı-2500	88	1,47	1,267	0,285
	2501-4500	121	1,60		
	4501-5500	61	1,69		
	5500+	165	1,84		
Lezzet	Asgari ücret altı-2500	88	1,41	1,27	0,284
	2501-4500	121	1,71		
	4501-5500	61	1,69		
	5500+	165	1,78		
Protein Değeri	Asgari ücret altı-2500	88	1,40	1,874	0,133
	2501-4500	121	1,62		
	4501-5500	61	1,72		
	5500+	165	1,87		
Alışkanlık	Asgari ücret altı-2500	88	1,42 _b	3,832	0,01
	2501-4500	121	1,64 _{a, b}		
	4501-5500	61	1,77 _{a, b}		
	5500+	165	2,15 _a		
Özel Bir Neden Yok	Asgari ücret altı-2500	88	1,36	0,536	0,658
	2501-4500	121	1,40		
	4501-5500	61	1,77		
	5500+	165	1,44		





Tartışma ve Sonuç

Araştırmaya katılan kişilerin haneye ait aylık toplam gelirleri incelendiğinde, yaklaşık % 38'inin geliri 5.500 TL üzerindedir. Elde edilen bulgulara göre, asgari ücret altı -2500 aralığında geliri olanlar %20.2 oranındadır.

Anket katılımcılarının gelir grupları bazında aylık gıda harcamaları içerisinde tavuk etinin aldığı pay istatistiksel açıdan anlamlıdır ($P<0.05$). Aylık gıda harcamaları içerisinde tavuk etinin aldığı pay % 0-15 aralığında olan anket katılımcılarının %23.5'i asgari ücret altı-2500 aralığında gelir düzeyine sahiptir. Gül ve Şahin (1998), Yıldırım ve Yalçınkaya (1999), Büyüknisan (2008) ailelerin gelirlerinin artmasıyla tavuk eti tüketimlerinde artış meydana geldiği saptamışlardır. Bircan vd. (2017) ve Eleroğlu vd. (2018) tavuk eti tüketimine meslek grupları, aile gelir seviyesi ve aile birey sayısının etkili olduğu belirtmişlerdir.

Anket katılımcılarının tavuk eti fiyatı hakkındaki düşünceleri, gelir grupları yönünden istatistiksel açıdan anlamlıdır ($P<0.05$). Asgari ücret altı-2500 ile 5500 üzeri gelir grubundaki bireylerin tavuk eti fiyatları hakkındaki düşünceleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmaktadır. Tavuk eti fiyatlarının 'çok ucuz-ucuz' olduğunu düşünenlerin içinde asgari ücret altı-2500 arası gelir grubundakilerin oranı % 9.1 iken 5500 ve üzeri gelir grubundakilerin oranı %47.7 olarak gerçekleşmiştir. Kızılaslan ve Nalinci (2013), kanatlı etini tüketenlerin %80,50'si fiyatların normal olduğunu, %13,09'u ise pahalı olduğunu düşündüklerini bildirmişlerdir

Öneriler

- Düşük gelir grubunda fiyat faktörünün tavuk eti tüketiminde belirleyici olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle üretici ve perakendeciler, farklı gelir gruplarına yönelik ekonomik ürün seçenekleri, kampanyalar ve küçük gramajlı ambalaj alternatifleri geliştirebilir.
- Gelir düzeyinin tavuk eti tüketimi üzerindeki etkisi dikkate alınarak, farklı gelir gruplarına yönelik tüketim davranışları ayrıntılı olarak incelenmelidir.
- Tavuk etinin besin değeri ve dengeli beslenmedeki önemi konusunda tüketicilere yönelik bilgilendirme çalışmaları artırılmalıdır.
- Tüketicilerin tavuk eti fiyat algısını etkileyen ekonomik ve sosyal faktörlerin belirlenmesine yönelik kapsamlı araştırmalar yapılmalıdır.
- Farklı bölgelerde ve daha geniş örneklem gruplarıyla gerçekleştirilecek çalışmalarla elde edilen bulgular karşılaştırılmalıdır.

Beyanlar

Tezden Üretim: Bu makale, birinci yazarın doktora tezinden üretilmiştir.

Yazar Katkıları: Birinci yazar çalışmanın tasarımı oluşturmuş, verilerinin toplanmasını gerçekleştirmiş, istatistiksel analizleri yapmış ve makalenin yazımını tamamlamıştır.

İkinci yazar (tez danışmanı) araştırmanın yöntemsel kurgusuna katkı sağlamış ve makalenin bilimsel içeriğini eleştirel olarak değerlendirmiştir.

Üçüncü yazar (tez jüri üyesi) çalışmanın yorumlanması aşamasında bilimsel katkı sunmuş, veri analiz sürecini denetlemiş ve makalenin son hâlini gözden geçirerek onaylamıştır.

Etik Kurul Onayı: Anket uygulamasına ilişkin etik kurul onayı Ankara Üniversitesi Etik Kurulu'ndan (Tarih: 24.07.2017 Karar No:213) alınmıştır.

Finansman: Bu çalışma için herhangi bir kamu, ticari veya kâr amacı gütmeyen kuruluştan finansal destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışması: Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Özgünlük Beyanı: Bu çalışma daha önce yayımlanmamış olup, eş zamanlı olarak başka bir dergiye gönderilmemiştir.

Kaynaklar

- Armağan, G., Özdoğan, M., 2005. Ekolojik Yumurta ve Tavuk Etinin Tüketim Eğilimleri ve Tüketici Özelliklerinin Belirlenmesi. Hayvansal Üretim 46(2): 14-21.
- Başak, H., Özcan, S., Yılmaz, V. 2015. Manisa İli Demirci İlçesinde Organik Tarım Hakkında Üreticilerin Bilgi Düzeylerinin ve Beklentilerinin Belirlenmesi.' Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi 2(4): 324-331.
- Bircan, H., Eleroğlu, H., Arslan, R. 2017. Sivas Kent Merkezinde Tavukçuluk Ürünlerinin Tüketimi ve Tüketime Etki Eden Faktörler. Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5(12): 1609-1614.
- Büyüknisan O. 2008. Adana İli Kentsel Alanda Tavuk Eti Tüketim Yapısı, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Ekonomisi Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Chin, S.F., Liu, W., Storkson, J.M., Ha, Y.L., Pariza, M.W. 1992. Dietary sources of conjugated dienoic isomers of linoleic acid, a newly recognized class of anticarcinogens. J Food Compos Anal, 5 (3): 185-197.





- Eleroğlu, H., Bircan, H., Arslan, R. 2018. Yozgat İl Merkezinde Yumurta ve Tavuk eti Tüketimi Üzerine Etki Eden Faktörler. Tavukçuluk Araştırma Dergisi, Cilt 15, Sayı 1, 29 – 33.
- Gebauer, S.K., Psota, T.L., Harris, W.S., Kris-Etherton, P.M. 2006. N-3 Fatty Acid Dietary Recommendations And Food Sources To Achieve Essentiality And Cardiovascular Benefits. Am J Clin Nutr, 83 (6): 1526S-1535S.
- Gül, A., Şahin, K. 1998. Adana İlinde Ailelerin Tavuk Eti Alım Ve Tüketimi Üzerine Bir Araştırma. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, Sayı:1, Adana.
- Kızılaslan, H., Nalinci, S. 2013. Amasya İli Merkez İlçedeki Hane Halkının Kanatlı Eti Tüketim Alışkanlıkları ve Kanatlı Eti Tüketimini Etkileyen Faktörler. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırmalar Dergisi (6), 1-18.
- Kotler, P., Armstrong, G. 2004. Principles of Marketing. 10th Edition, RR Donnelley-Willaard, 178-197.
- Miran, B. 2002. Temel İstatistik. E.U. Matbaası.
- Mucuk, I. 2010. Pazarlamanın İlkeleri. 18. Baskı, Türkmen Yayınevi, Beyazıt-İstanbul, ISBN: 978-975-7337-59-1, 125-152.
- Öziş Altınçekiç, Ş., Koyuncu, M. 2013. Organik Et ve Özellikleri. Türkiye II. Hayvancılık Kongresi. 24-26 Ekim, 279-288, Bursa.
- Topcu, Y. 2015. Turkish consumer decisions affecting ice cream consumption. Italian Journal of Food Science, 27: 1-11.
- Topcu, Y., Uzundumlu, A.S., Baran, D. 2015. Tüketicilerin Tavuk Eti Tüketimi ile İlgili Tutum ve Davranışlarını Etkileyen Faktörlerin Analizi, Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 3(5): 242-247.
- Yıldırım, İ., Yalçınkaya, O. (1999). Tavuk eti tüketim yapısı: Van ili Erciş ilçesi örneği. Uluslararası Hayvancılık Kongresi, 417-421.





Assessment of Tocopherols Content in Five Tunisian Pepper Landraces

Marwa Chouikhi^{1*}, Riadh Ilahy¹, Imen Tlili¹ and Thouraya R'him¹

¹Laboratory of Horticulture, National Institute of Agronomic Research of Tunisia, University of Carthage, Hédi Karray Street, 2049 Ariana, Tunisia

Abstract

Peppers (*Capsicum annuum* L.) are an important source of bioactive compounds, including tocopherols, which are lipid-soluble antioxidants essential for human health. This study evaluated the tocopherol composition (α -, β -, γ -, and total tocopherols) in five Tunisian pepper genotypes (Baklouti, Beldi, Nabeul, Marconi, and Super Marconi) grown under open-field conditions. α -Tocopherol was the predominant isoform, with the highest levels observed in Beldi (30.93 mg kg⁻¹ FW) and Nabeul (26.92 mg kg⁻¹ FW), whereas β - and γ -tocopherols were present in lower amounts. Significant variation in total tocopherol content among genotypes reflects the combined influence of genetic and environmental factors. The results highlight the nutritional and antioxidant potential of local Tunisian pepper landraces and provide valuable information for breeding programs aimed at enhancing vitamin E content. These findings support the role of pepper fruits as functional foods capable of contributing to human health and oxidative stress prevention.

Key Words: *Capsicum annuum*, pepper landraces, tocopherols, α -tocopherol and genotypic variation.

Introduction

Peppers (*Capsicum annuum* L.) are among the most widely cultivated and consumed vegetable crops worldwide, valued for their sensory attributes, nutritional quality and health-promoting properties. In addition to their rich content of vitamins, carotenoids, and phenolic compounds, pepper fruits are an important source of vitamin E, a group of lipid-soluble antioxidants collectively known as tocopherols (Qin et al., 2024; Meena et al., 2025).

Tocopherols, including α -, β -, γ -, and δ -isomers, play a crucial role in protecting cellular membranes against oxidative damage by scavenging reactive oxygen species (ROS) and preventing lipid peroxidation. Among them, α -tocopherol is recognized as the most biologically active form and the predominant isoform in plant tissues, particularly in photosynthetic organs and fruits (Mesa & Munné-Bosch, 2023). Beyond their antioxidant function, tocopherols are also involved in plant stress tolerance, chloroplast stability and regulation of physiological processes (Meena et al., 2025).

The accumulation and composition of tocopherols in plant tissues are influenced by multiple factors, including genotype, environmental conditions, and agronomic practices. Recent studies have highlighted the importance of genotype $\times$ environment interactions in determining tocopherol content, as well as the role of metabolic pathways linked to chlorophyll biosynthesis and plastid development (Hussain et al., 2024; Herr et al., 2025). This variability offers opportunities for the selection and improvement of crop varieties with enhanced nutritional quality.

In Tunisia, pepper landraces represent a valuable genetic resource characterized by high diversity and adaptation to local agro-climatic conditions. However, limited information is available regarding their tocopherol composition and variability. Therefore, the present study aimed to assess the tocopherol content (α -, β -, γ -, and total tocopherols) in five Tunisian pepper genotypes cultivated under open-field conditions, in order to better understand their nutritional potential and contribute to the valorization of local germplasm.

Materials and Methods

The field-experiment was conducted during 2022 growing season at the Research and Experimental Station of Teboulba, Monastir, Tunisia. Five pepper genotypes were used in this experiment consisting of Baklouti, Beldi, Nabeul, Marconi and Super Marconi. Sowing was carried out in plug-seedling trays during May. Pepper seedlings were transplanted in open-field in a sandy soil at the beginning of June with a spacing of approximately 0.4 m within the row and 0.7 m between rows, matching a density of about 4 plants.m⁻² and grown until maturity. Drip irrigation was applied during 1-3 h at different days intervals in agreement with the local evapotranspiration potential, climatic conditions, crop coefficient and growth stage. The growing calendar was also in accordance with the techniques used by the Research station and high-yielding neighbouring farmers. The method included the use of synthetic chemical fertilizers (145 kg N ha⁻¹, 140 kg P₂O₅ ha⁻¹, 210 kg K₂O ha⁻¹). Chemical fertilizer solution was added to water irrigation by pump injection twice a week. The production method also consists of hand weeding and plant-pathogen control with synthetic chemical pesticides. Pesticides were applied once a cycle. The experimental design was a randomized complete block design with three blocks (replicates). During 2022





growing season, the average temperature ranged between 24.88-33°C, relative humidity ranged between 30-88% and rainfall ranged between 0-5 mm.

Fruit sampling

Peppers were collected from each plant at the commercial red mature ripening stage. Fresh pepper fruits were harvested from each bloc and delivered to the laboratory. The selected pepper fruits were washed with deionized water, cut into small pieces and homogenized in a laboratory blender (Waring Laboratory Science, Torrington, CT, US). The obtained homogenates were used to assess tocopherols.

Determination of Tocopherol Content

The procedure of Abushita et al. (1997) was adopted for the extraction of tocopherol using *n*-hexane. The analysis was conducted by the mean of an HPLC (Hitachi Chromaster, Tokyo, Japan). The system was composed of a model 5110 gradient pump, a model 5210 autosampler, and a 5440-fluorescence detector. The Nucleosil 5 mm (250 × 4.6 mm i.d.) column was also used for separation with a mobile phase (99.5:0.5 *n*-hexane: ethanol). The excitation and emission wavelengths were detected at 295 nm and 320 nm, respectively, as outlined in Duah et al. (2021). The isomers of α -, β -, and γ -tocopherols were determined by means of external standards (Sigma-Aldrich, Budapest, Hungary) and cochromatographed with the samples. The retention times were 16.75, 14.41, and 13.34 min for α -, β -, and γ -tocopherols, respectively and the content was expressed as mg kg⁻¹ fw.

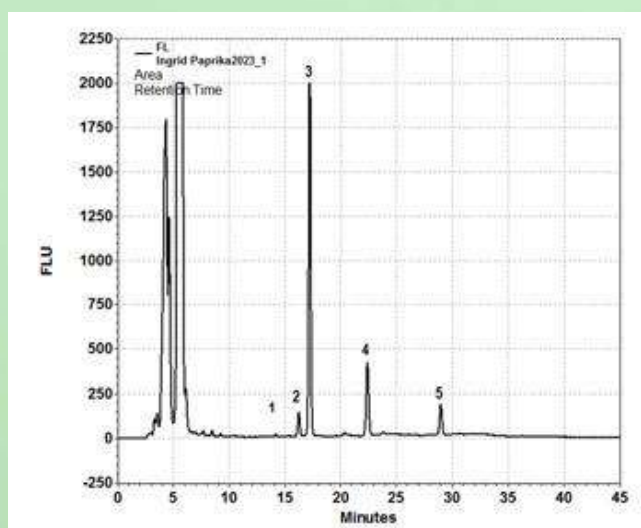


Figure 1. HPLC profile of tocopherols from pungent red pepper fruits Peak identification.

1: mixture of β - and γ -tocopherol, 2: α -tocopherol hydroquinone, 3: α -tocopherol, 4: α -tocopherol acetate, 5: α -tocopherol ester.

Statistical Analysis

The variability influencing tocopherols content of different pepper landraces were determined by variance (ANOVA) analysis. The means comparison was performed by the Duncan test ($p < 0.05$) if significant differences were spotted. The statistical evaluations were conducted using the IBM SPSS Statistics software for Windows, Version 21.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA).

Results and Discussion

The α -tocopherol was the predominant tocopherol isomer in all studied pepper genotypes. Its content showed significant variation among cultivars, with the highest levels recorded in Beldi (30.93 mg kg⁻¹ FW) and Nabeul (26.92 mg kg⁻¹ FW), whereas the lowest concentration was observed in Super Marconi (14.91 mg kg⁻¹ FW). This predominance is consistent with previous studies reporting that α -tocopherol is the most abundant and biologically active form of vitamin E in plant tissues, particularly in photosynthetic organs and fruits (Mesa et al., 2023). α -tocopherol acts as a major lipid-soluble antioxidant, protecting cellular membranes from lipid peroxidation caused by reactive oxygen species (ROS). Therefore, pepper genotypes with higher α -tocopherol content may exhibit enhanced oxidative stress tolerance and improved nutritional quality (Mesa et al., 2023). The observed variability among genotypes highlights the strong influence of genetic factors on α -tocopherol accumulation, as reported in recent studies on horticultural crops (Hussain et al., 2024 ; Kazemzadeh et al., 2024 ; Meena et al., 2025) . In addition, environmental conditions such as temperature, light intensity, and agronomic practices may also affect its biosynthesis.





β -Tocopherol was detected in lower amounts compared to α -tocopherol across the studied genotypes, confirming its minor contribution to total tocopherol content. This observation is consistent with previous studies indicating that β -tocopherol is generally present in smaller quantities in plant tissues due to differences in methylation patterns and biosynthetic pathway regulation (Qin et al., 2024). Despite its lower abundance, β -tocopherol still contributes to antioxidant defense by scavenging reactive oxygen species and protecting membrane lipids from oxidative damage, although its biological activity is considered lower than that of α -tocopherol (Meena et al., 2025). The variation observed among genotypes suggests that β -tocopherol accumulation is influenced by both genetic factors and enzymatic conversion processes within the tocopherol biosynthetic pathway, particularly the methylation steps that preferentially lead to α -tocopherol formation. Additionally, environmental conditions may further modulate the relative proportions of tocopherol isoforms, resulting in differential accumulation patterns in plant tissues (Hussain et al., 2024).

γ -Tocopherol was detected in relatively low amounts compared to α -tocopherol in the studied genotypes, confirming its minor contribution to total tocopherol content. This distribution is consistent with previous findings indicating that α -tocopherol is the predominant isoform in plant tissues, while γ -tocopherol generally occurs in lower concentrations due to its partial conversion during the tocopherol biosynthetic pathway. Despite its lower abundance, γ -tocopherol plays a significant physiological role as an effective lipid-soluble antioxidant, contributing to the protection of cellular membranes against oxidative damage. Notably, it exhibits a unique capacity to neutralize not only reactive oxygen species (ROS) but also reactive nitrogen species (RNS), such as peroxynitrite, which distinguishes it from other tocopherol isoforms (Es-Sai et al., 2025). Furthermore, γ -tocopherol has been reported to participate in the regulation of oxidative stress and inflammatory responses, enhancing the overall antioxidant defense system in plant and biological tissues. Its presence, even at low levels, may therefore contribute to the stability of lipid membranes and improve the nutritional and functional quality of plant-derived foods (Es-Sai et al., 2025).

Total tocopherol content represents the cumulative concentration of all tocopherol isoforms (α , β , γ , and δ), and is therefore considered a key indicator of the overall antioxidant capacity and nutritional value of plant-derived foods. Higher total tocopherol levels reflect a stronger ability to scavenge reactive oxygen species (ROS) and protect cellular structures, particularly membrane lipids, from oxidative damage (Meena et al., 2025; Qin et al., 2024). The variation observed in total tocopherol content among genotypes highlights the combined effects of genetic regulation and metabolic pathways controlling tocopherol biosynthesis. Recent studies have demonstrated that total tocopherol accumulation is closely linked to chlorophyll metabolism and plastid development, indicating a strong connection between photosynthetic activity and vitamin E biosynthesis (Herr et al., 2025). Furthermore, total tocopherol levels are highly responsive to environmental conditions such as light intensity, temperature, drought, and salinity, which can significantly alter both the concentration and composition of tocopherols in plant tissues (Meena et al., 2025). Genotypes with higher total tocopherol content may provide enhanced oxidative stability and greater health-promoting potential, reinforcing the importance of selecting and breeding varieties with elevated vitamin E levels for both nutritional and functional quality.

Table 1. Tocopherol composition (α -, β -, γ -, and total tocopherols) in five Tunisian pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes (mg kg⁻¹ FW)

	<i>α-Tocopherol</i>	<i>β-Tocopherol</i>	<i>γ-Tocopherol</i>	<i>Total tocopherols</i>
Baklouti	19.5±2.04 c	0.46±0.1 b	n.d	19.96±2.11 c
Beldi	30.93±1.23 a	0.25±0.02 c	0.18±0.02 a	31.36±1.26 a
Nabeul	26.92±1.03 b	0.59±0.03 a	0.14±0.09 a	27.65±1.07 b
Marconi	23.53±1.11 bc	0.25±0.004 c	0.04±0.02 b	23.82±4.13 bc
Super marconi	14.91±1.76 d	n.d	n.d	14.91±1.76 d

n.d.: not detected.

Conclusion

This study provides a comprehensive assessment of tocopherol content in five Tunisian pepper genotypes, highlighting significant variation among cultivars. α -Tocopherol was the predominant isoform, confirming its major contribution to the nutritional and antioxidant value of pepper fruits, while β - and γ -tocopherols were present in lower amounts but still contributed to the overall antioxidant potential. The observed differences among genotypes indicate a strong influence of genetic factors, with additional modulation by environmental conditions and agronomic practices. Total tocopherol content varied significantly, emphasizing the importance of genotype selection for enhancing the functional and nutritional quality of pepper fruits. These findings underscore the potential of local Tunisian landraces as valuable sources of vitamin E and provide a foundation for future breeding programs aimed at improving antioxidant content. Overall, the study reinforces the role of peppers as a functional food with the capacity to contribute to human health and oxidative stress prevention.





References

- Abushita AA, Hebshi EA, Daood HG, Biacs PA. (1997). Determination of antioxidant vitamins in tomatoes. *Food Chemistry*, 60: 207-12. [https://doi.org/10.1016/s0308-8146\(96\)00321-4](https://doi.org/10.1016/s0308-8146(96)00321-4)
- Duah, S.A.; e Souza, C.S.; Daood, H.G.; Pék, Z.; Neményi, A.; Helyes, L. (2021). Content and response to γ -irradiation before overripening of capsaicinoid, carotenoid, and tocopherol in new hybrids of spice chili peppers. *LWT Food Science and Technology*, 147, 111555. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111555>
- Es-Sai, B., Wahnou, H., Benayad, S., Rabbaa, S., Laaziouez, Y., El Kebba, R., & Duval, R. E. (2025). Gamma-tocopherol: a comprehensive review of its antioxidant, anti-inflammatory, and anticancer properties. *Molecules*, 30(3), 653. <https://doi.org/10.3390/molecules30030653>
- Herr, S., Li, X., Wu, D., Hunter, C. T., Magallanes-Lundback, M., Wood, J. C., & Gore, M. A. (2025). Total tocopherol levels in maize grain depend on chlorophyll biosynthesis within the embryo. *BMC Plant Biology*, 25(1), 328. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06267-6>
- Hussain, M., Rauf, S., Ortiz, R., Al-Khayri, J. M., Tauqir, N. A., & Elbok, S. (2024). Genotype by environment interaction influence on functional molecules (tocopherols and sterols) accumulation in sunflower oil. *Euphytica*, 220(7), 114. <https://doi.org/10.1007/s10681-024-03373-8>
- Kazemzadeh, S., Farrokhi, N., Ahmadikhah, A., Tabar Heydar, K., Gilani, A., Askari, H., & Ingvarsson, P. K. (2024). Genome-wide association study and genotypic variation for the major tocopherol content in rice grain. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1426321. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1426321>
- Meena, V. K., Chand, S., Shekhawat, H. V. S., Choudhary, K., Sharma, J. K., Sheera, A., & Yadava, D. K. (2025). Advances in plant tocopherol biosynthesis: from pathway elucidation to crop biofortification strategies. *Discover Plants*, 2(1), 9. <https://doi.org/10.1007/s44372-025-00093-8>
- Mesa, T., & Munné-Bosch, S. (2023). α -Tocopherol in chloroplasts: nothing more than an antioxidant?. *Current Opinion in Plant Biology*, 74, 102400. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2023.102400>
- Qin, P., Chen, P., Zhou, Y., Zhang, W., Zhang, Y., Xu, J., & Zhang, C. (2024). Vitamin E biofortification: enhancement of seed tocopherol concentrations by altered chlorophyll metabolism. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1344095. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1344095>





Effect of Pepper Genotype and Processing Conditions on Phytochemical Composition and Antioxidant Activity of Tunisian Harissa

Marwa Chouikhi^{1*}, Riadh Ilahy¹, Imen Tlili¹ and Thouraya R'him¹

¹Laboratory of Horticulture, National Institute of Agronomic Research of Tunisia, University of Carthage, Hédi Karray Street, 2049 Ariana, Tunisia

Abstract

Harissa, a traditional Tunisian red pepper paste, is widely appreciated for its sensory attributes and potential health benefits linked to its rich phytochemical composition. This study investigated the combined effects of pepper genotype (local vs. hybrid) and processing conditions on physicochemical properties, phytochemical content, and antioxidant activity of harissa. Two types of harissa were produced: LTH (local traditional harissa) and HTH (hybrid traditional harissa). Physicochemical analysis revealed no significant differences in pH (4.96) and titratable acidity (0.14%) between samples, while LTH exhibited higher total soluble solids and slightly greater ascorbic acid content. Phytochemical analysis showed that LTH had significantly higher total phenolic (325.74 ± 20.55 mg GAE/kg FW) and carotenoid contents (573.95 ± 10.11 mg β -CarE/kg FW) compared to HTH (270.42 ± 20.66 mg GAE/kg FW and 541.88 ± 8.61 mg β -CarE/kg FW, respectively), indicating better preservation of heat-sensitive bioactive compounds under milder processing conditions. In contrast, HTH demonstrated significantly higher hydrophilic and lipophilic antioxidant activities, suggesting that more intense processing may enhance antioxidant capacity through the formation of new antioxidant compounds or improved extractability. These findings highlight the complex interplay between raw material and processing conditions in determining the functional quality of harissa. Optimizing processing parameters may therefore allow for improved retention of bioactive compounds while maintaining or enhancing antioxidant functionality.

Key Words: Harissa, pepper genotype, phytochemical composition; hydrophilic and lipophilic antioxidants and food processing

Introduction

Harissa, a bright red pepper paste native to Tunisia and considered the country's national condiment, plays a central role in Tunisian cuisine and cultural identity, recently being inscribed on UNESCO's Representative List of the Intangible Cultural Heritage of Humanity. Its production, from sun-dried *Capsicum* peppers blended with spices, vinegar, and olive oil, supports rural livelihoods, contributes significantly to Tunisia's agro-food economy, and underpins its export market.

Peppers are rich in phenolic compounds and carotenoids, which contribute to antioxidant capacity and human health benefits; however, these phytochemicals are sensitive to genotype and processing conditions, often undergoing degradation, isomerization, or transformation during thermal treatments. Contemporary studies on Tunisian harissa and related pepper pastes reveal substantial variability in phenolic and carotenoid contents and antioxidant activities across traditional and commercial products, underscoring the influence of raw material and processing on functional quality (Ferrando et al., 2024 ; Chouikhi et al., 2025).

Despite its cultural and economic importance, there is limited detailed comparison of how pepper genotype (local vs. hybrid) and traditional processing interact to shape the phytochemical profile and antioxidant functionality of harissa. This study aims to address this gap by examining the effects of pepper type on total phenolic and carotenoid content, along with hydrophilic and lipophilic antioxidant activities, providing insights for optimizing processing strategies to enhance the nutritional and functional quality of this emblematic Tunisian product.

Materials and Methods

Plant culture

The field experiment was carried out during the 2023 growing season at the Teboulba Research Station (Monastir, Tunisia). Eight pepper cultivars, including four hybrids (Starter, Essifi, Sahraoui, and Necessario) and four hot pepper landraces (Beldi, Baklouti, Nabeul, and Kairouan), were grown under open-field conditions. Seedlings were transplanted in early June with a density of 4 plants/m² and managed using drip irrigation according to climatic conditions and crop requirements. Standard agronomic practices were applied, including fertilization,





weeding, and pest control. The trial followed a randomized complete block design with three replicates. During the season, temperatures ranged from 20 to 34 °C, relative humidity from 56 to 90%, and rainfall remained low.

Traditional red-hot pepper paste harissa processing

Pepper fruits were harvested from each plant at the commercial red-ripe stage. Only healthy fruits were collected from each block and immediately transported to the laboratory. The selected fruits were washed with deionised water, cut into small pieces, and homogenised using a laboratory blender (Waring Laboratory Science, Torrington, CT, USA). The resulting pepper puree was thermally treated at approximately 70 °C, after which seeds and skins were removed to improve texture. The puree was subsequently refined and vacuum-concentrated to a dry matter content of 14% at 65-70 °C. Finally, fresh red garlic paste ($\geq 4\%$), coriander ($\geq 4\%$), caraway powder ($\geq 2\%$), and salt ($\geq 2\%$) were added to the concentrated paste, followed by thorough mixing and homogenisation to obtain the final product, referred to as traditional Harissa (TH). Two types of harissa were produced, namely harissa prepared from local pepper varieties (LTH) and harissa prepared from hybrid pepper varieties (HTH).

Determination of pH, Total Soluble Solids, Titratable Acidity and Ascorbic Acid Contents

pH was measured using a digital pH meter (PCE-228) by directly immersing the electrode into the harissa homogenate. Total soluble solids (TSS) content was determined using a hand-held digital refractometer (ATAGOTM PAL-22S) by placing a small aliquot of the homogenised harissa on the prism surface, and results were expressed as °Brix. Titratable acidity was assessed by titration with 0.1 N NaOH to an endpoint of pH 8.1 and expressed as grams of citric acid per 100 g of fresh weight. Ascorbic acid content was determined by titration according to Miller (1998). 5 g of harissa sample were homogenised with 20 mL of distilled water; an aliquot (5 mL) of the extract was mixed with 5 mL of 2% acetic acid solution and titrated with 2,6-dichlorophenol-indophenol.

Quantification of total phenolic content

Total phenolics were extracted from a sample of 0.1 g of each replicate sample using a mixture of 80% aqueous methanol and 37% HCl according to the method described by Martínez-Valverde et al. (2002). The mixture was continuously stirred at 4 °C for 2h, and then centrifuged for 15min at 10,000g to obtain the supernatant. The supernatant was mixed with the Folin Ciocalteu reagent, and absorbance at 750nm was measured using a BioQuest CE 2501 spectrophotometer (Cecil Instruments Ltd, Cambridge, UK). To quantify the total phenol content, a linear calibration curve was generated using freshly prepared gallic acid solution, and the data were reported in milligrams of gallic acid equivalents per kilogram of fresh weight (mg GAE/kg FW).

Quantification of carotenoid content

The carotenoid content of the harissa was analysed following the method described by Sadler et al. (1990) modified by Perkins-Veazie et al. (2001). The extraction process utilised a mixture of hexane, ethanol, and acetone in a 2:1:1 ratio, with the addition of 0.05% butylated hydroxy toluene. Carotenoid levels were quantified by measuring the absorbance at 450 nm using a Cecil BioQuest CE 2501 spectrophotometer (Cecil Instruments Ltd., Cambridge, UK). The carotenoid content was expressed in milligrams of β -carotene-equivalent per kilogram of fresh weight (mg β -CarE/kg FW).

Quantification of hydrophilic and lipophilic antioxidant activities

The ABTS radical scavenging capacity of the samples was determined following the method of Miller and Rice-Evans (1997). The hydrophilic and lipophilic antioxidant activities (HAA and LAA, respectively) were measured using the Trolox Equivalent Antioxidant Activity assay. After centrifugation of the sample at 10,000 g for 7 min, the supernatant was collected for antioxidant activity measurements. The samples were analysed for their absorbance values at 734 nm using a Cecil spectrophotometer. Fresh Trolox solutions were used to create two different calibration curves for the measurements of HAA and LAA. Trolox solution with concentrations ranging from 0 to 16M Trolox was used to create a linear calibration curve. The results were reported as μ M of Trolox per 100g of fresh weight (μ M Trolox/100g FW).

Data analysis

The statistical analysis of the data was conducted using the IBM SPSS Statistics software for Windows, Version 21.0. (IBM Corp., Armonk, NY, USA). To compare the mean values, the least significant difference (LSD) procedure was utilised, with statistical significance set at $P < 0.05$.

Results and Discussion

The pH values of both LTH and HTH harissa were identical (4.96), indicating comparable acidity levels. This pH range is characteristic of processed pepper-based products and plays a key role in ensuring product stability





and microbial safety. The absence of significant differences suggests that processing conditions and acid-base equilibria were similar for both formulations. In contrast, soluble solids content ($^{\circ}$ Brix) showed a significant variation between the two samples. LTH exhibited a higher $^{\circ}$ Brix value (16.13) than HTH (15.77), reflecting a greater concentration of soluble sugars and dissolved solids. This difference may contribute to enhanced sweetness perception and a more pronounced flavor profile in LTH harissa. Titratable acidity was comparable in both products (0.14%), indicating similar levels of organic acids. This consistency is in agreement with the identical pH values and suggests that the acid composition and buffering capacity remained stable across both harissa types. With respect to ascorbic acid content, LTH showed a slightly higher concentration (206 mg/100 g FW) compared to HTH (202.8 mg/100 g FW). Although the difference is modest, it may indicate a better preservation of vitamin C in LTH, potentially linked to variations in raw material quality or processing intensity. Overall, while both harissa types displayed similar acid-related characteristics, LTH was distinguished by higher soluble solids and marginally greater vitamin C content, which could positively influence both sensory attributes and nutritional value.

Table 1. Physicochemical parameters of LTH and HTH harissa.

Harissa	pH	Soluble Solids ($^{\circ}$ Brix)	Titratable Acidity (%)	Ascorbic acid (mg/100 g FW)
LTH	4.96 $\pm$ 0.02a	16.13 $\pm$ 0.22 a	0.14 $\pm$ 0.005 a	206 $\pm$ 0.36 a
HTH	4.96 $\pm$ 0.05a	15.77 $\pm$ 0.24 b	0.14 $\pm$ 0.005 a	202.8 $\pm$ 0.53 b

Total phenolic content varied significantly between the two harissa types, with LTH exhibiting a higher concentration (325.74 $\pm$ 20.55 mg GAE/kg FW) compared to HTH (270.42 $\pm$ 20.66 mg GAE/kg FW). This result suggests a better preservation of phenolic compounds under LTH processing conditions. Phenolics are important secondary metabolites known for their strong antioxidant activity, contributing substantially to the nutritional and functional quality of food products through their ability to scavenge free radicals and reduce oxidative stress. Their stability is highly dependent on processing factors, particularly temperature and duration, which may induce degradation or structural modifications (Jia et al., 2025 ; Collins et al., 2024). Consequently, the higher phenolic content observed in LTH may reflect milder or more favorable processing conditions, ultimately enhancing the antioxidant potential and associated health benefits of the final product. (Arya et al., 2024 ; Kahkashan et al., 2024 ; Kalita et al., 2025).

Total carotenoid content was significantly higher in LTH (573.95 $\pm$ 10.11 mg β -CarE/kg FW) than in HTH (541.88 $\pm$ 8.61 mg β -CarE/kg FW), suggesting that LTH processing conditions are more effective in preserving these lipophilic pigments. Carotenoids, which are responsible for the characteristic red-orange coloration of pepper-based products, also act as potent fat-soluble antioxidants and contribute to various health benefits through their role in mitigating oxidative stress. However, these compounds are highly sensitive to processing conditions, particularly temperature and treatment duration, which can induce degradation or isomerization and consequently reduce their functional properties. The higher carotenoid retention observed in LTH therefore indicates reduced thermal degradation compared to HTH, potentially enhancing both the nutritional value and lipophilic antioxidant capacity of the final product (Ferrando et al., 2024).

LTH harissa exhibited significantly higher total phenolic (325.74 $\pm$ 20.55 mg GAE/kg FW) and carotenoid contents (573.95 $\pm$ 10.11 mg β -CarE/kg FW) compared to HTH (270.42 $\pm$ 20.66 mg GAE/kg FW and 541.88 $\pm$ 8.61 mg β -CarE/kg FW, respectively), indicating that milder processing conditions favor the preservation of these heat-sensitive bioactive compounds (González-Peña et al., 2021). Phenolics and carotenoids are major contributors to antioxidant capacity; however, both are susceptible to thermal degradation. Despite their lower phytochemical contents, HTH showed significantly higher hydrophilic and lipophilic antioxidant activities than LTH, suggesting that more intense processing may enhance antioxidant activity through the formation of Maillard reaction products or by increasing the extractability and reactivity of certain compounds. These findings highlight the complex relationship between processing conditions, phytochemical retention, and antioxidant functionality, where increased thermal intensity may reduce native compounds but simultaneously enhance overall measured antioxidant activity.

Table 2. Comparison of phytochemical composition (total phenolics and carotenoids) and hydrophilic/lipophilic antioxidant activities in LTH and HTH harissa.

Harissa	Total Phenolic (mg GAE/kg FW)	Total Carotenoids (mg β -CarE/kg FW)	Hydrophilic Antioxidant Activity (μ M Trolox/100g FW)	Lipophilic Antioxidant Activity (μ M Trolox/100g FW)
LTH	325.74 $\pm$ 20.55 a	573.95 $\pm$ 10.11 a	1072.86 $\pm$ 16.94 b	1170.63 $\pm$ 12.03 b
HTH	270.42 $\pm$ 20.66 b	541.88 $\pm$ 8.61 b	1943.3 $\pm$ 22.49 a	1732.53 $\pm$ 10.41 a





Conclusion

Harissa produced from local pepper varieties showed higher phenolic and carotenoid contents, indicating better preservation of native bioactive compounds, whereas harissa from hybrid varieties exhibited substantially higher hydrophilic and lipophilic antioxidant activities. These contrasting trends highlight that antioxidant capacity is not solely dependent on phytochemical concentration but is strongly influenced by processing-induced transformations and compound interactions. The results emphasize the combined roles of pepper genotype and processing conditions in shaping the nutritional and functional quality of harissa and provide a basis for optimizing processing strategies to enhance antioxidant functionality.

References

- Arya, M., Kumari, P., Kumar, G., Chauhan, A. S., & Giridhar, P. (2024). Insights into the chili phytochemicals, bioactive components, and antioxidant activity of instant premixes (green and red chilies) and their reconstitution products. *Food Production, Processing and Nutrition*, 6(1), 72. <https://doi.org/10.1186/s43014-024-00248-2>
- Chouihi, M. and Tlili, I. and Boumendjel, M. and Ilahy, R. and R'him, T. (2025). Assessing the functional quality of different commercial and traditional red-hot pepper paste 'harissa' commonly consumed in Tunisia. *Acta alimentaria*, 54 (3). pp. 403-415. <https://doi.org/10.1556/066.2025.00055>
- Collins, A., Santhakumar, A., Latif, S., Chinkwo, K., Francis, N., & Blanchard, C. (2024). Impact of processing on the phenolic content and antioxidant activity of Sorghum bicolor L. Moench. *Molecules*, 29(15), 3626. <https://doi.org/10.3390/molecules29153626>
- Ferrando, B. O., Baenas, N., & Periago, M. J. (2024). Changes in Carotenoids and Quality Parameters of Sweet Paprika (*Capsicum annum*) After an Accelerated Heat Treatment. *Antioxidants*, 13(12), 1492. <https://doi.org/10.3390/antiox13121492>
- González-Peña, M. A., Lozada-Ramírez, J. D., & Ortega-Regules, A. E. (2021). Antioxidant activities of spray-dried carotenoids using maltodextrin-Arabic gum as wall materials. *Bulletin of the National Research Centre*, 45(1), 58. <https://doi.org/10.1186/s42269>
- Jia, H., Ren, F., & Liu, H. (2025). Effects and improvements of storage conditions and processing on the bioaccessibility and bioavailability of phytochemicals in fruits and vegetables. *International Journal of Food Science and Technology*, 60(1), vvae040. <https://doi.org/10.1093/ijfood/vvae040>
- Kahkashan Parvin (2024). Emerging Perspectives on Polyphenols and Their Role in Food Quality and Human Health. *Biotechnology*. 30 to 39. <https://doi.org/10.51470/FAB.2024.5.1.30>
- Kalita, P., Bhattacharyya, J., Dutta, P. P., Chakrabarti, S., Ahmed, A. B., & Pachua, L. (2025). Valorization of polyphenolic compounds via encapsulation: a review. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 1-24. <https://doi.org/10.1007/s11694-025-03852-z>
- Martínez-Valverde, I., Periago, M.J., Provan, G., and Chesson, A. (2002). Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in commercial varieties of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82(3): 323-330. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1035>
- Miller, N.J. and Rice-Evans, C.A. (1997). The relative contribution of ascorbic acid and phenolic antioxidants to the total antioxidant activity of orange and apple fruit juices and blackcurrant drink. *Food Chemistry*, 60: 331-337. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(96\)00339-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(96)00339-1)
- Perkins-Weazie, P., Collins, J.K., Pair, S.D., and Roberts, W. (2001). Lycopene content differs among red fleshed watermelon cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81: 983-987. <https://doi.org/10.1002/jsfa.880>





Drought Analysis and Performance Evaluation in Niğde Province Using Different Drought Indices

Fatma Keskin¹, Burak Şen¹

¹Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Tarım Bil. ve Tek. Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği, Niğde, Türkiye

Abstract

In this study, drought conditions in Niğde province were analyzed using different drought indices, and their regional performances were comparatively evaluated. Long-term meteorological data for the period 1960–2021 were used. The Standardized Precipitation Index (SPI), Reconnaissance Drought Index (RDI), and UNEP Aridity Index were applied. SPI and RDI were evaluated at 3-, 6-, 9-, and 12-month time scales to determine temporal variability, while the UNEP Aridity Index was calculated based on precipitation and potential evapotranspiration (PET). PET values were estimated using the Hargreaves method via the Drinc software. The results indicate that arid and semi-arid conditions dominate in Niğde province. While short-term fluctuations are evident, long-term analyses reveal a more pronounced drought tendency. In particular, the 9- and 12-month results highlight a persistent drought risk. The UNEP Aridity Index findings support these results. The consistency among the indices enhances the reliability of the analysis and confirms that Niğde is a drought-sensitive region. These findings provide important implications for sustainable water resource management.

Key Words: Drought, SPI, RDI, Aridity Index, Drinc, Niğde

Niğde İlinde Farklı Kuraklık İndisleri İle Kuraklık Analizi Ve Performans Değerlendirmesi

Özet

Bu çalışmada, Niğde ilinde kuraklık koşulları farklı kuraklık indisleri kullanılarak analiz edilmiş ve bu indislerin bölgesel performansları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Araştırmada 1960–2021 dönemine ait uzun yıllık meteorolojik veriler kullanılmış; analizlerde Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI), Keşif Kuraklık İndisi (RDI) ve UNEP Aridite İndisi uygulanmıştır. SPI ve RDI yöntemleri 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde değerlendirilerek kuraklığın zamansal değişkenliği ortaya konulmuş, UNEP Aridite İndisi ise yağış ve potansiyel evapotranspirasyon verilerine dayalı olarak hesaplanmıştır. PET değerleri Hargreaves yöntemi ile Drinc programı aracılığıyla elde edilmiştir. Sonuçlar, Niğde ilinde kurak ve yarı kurak koşulların baskın olduğunu göstermektedir. Kısa vadede dalgalı bir yapı gözlenirken, uzun vadede kuraklık eğiliminin belirginleştiği tespit edilmiştir. Özellikle 9 ve 12 aylık analizler, bölgenin süreklilik gösteren kuraklık riski taşıdığını ortaya koymaktadır. UNEP Aridite İndisi sonuçları da bu bulguları desteklemektedir. Elde edilen sonuçların birbirleriyle uyumlu olması, analizlerin güvenilirliğini artırmakta ve Niğde ilinin kuraklık açısından hassas bir bölge olduğunu göstermektedir. Bu durum, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi açısından önemli çıkarımlar sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kuraklık, SPI, RDI, Aridite İndisi, Drinc, Niğde

Giriş

Günümüzde iklim değişikliğinin etkilerinin giderek daha belirgin hale geldiği kuraklık, küresel ve bölgesel ölçekte en önemli çevresel sorunlardan biri olarak öne çıkmaktadır. Özellikle yarı kurak ve karasal iklim özellikleri gösteren bölgelerde kuraklık; su kaynakları, tarımsal üretim, ekosistemler ve sosyo-ekonomik faaliyetler üzerinde ciddi baskılar oluşturmaktadır. Son yıllarda özellikle iklim değişikliğinin etkisiyle kuraklık olaylarının hem sıklığında hem de şiddetinde artış olduğu dikkat çekmektedir. Sıcaklıkların artması ve yağış rejimindeki düzensizlikler kuraklık riskini daha da artırmaktadır. Bu durum başta su kaynakları olmak üzere tarım, enerji ve gıda güvenliği açısından önemli sorunlara yol açmaktadır.

Türkiye, bulunduğu coğrafi konumu ve sahip olduğu iklim özellikleri nedeniyle kuraklık açısından risk taşıyan ülkeler arasında yer almaktadır. Son dönemlerde sıcaklık artışları ile birlikte yağışların düzensiz dağılım göstermesi, kuraklık riskinin giderek arttığını ortaya koymaktadır (Türkeş, 2012). Bu durum, su kaynaklarının korunması ve etkin bir şekilde yönetilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Kuraklık, uzun dönemli ortalama yağışların önemli ölçüde altında gerçekleşen koşulların arazi ve su kaynakları üzerinde olumsuz etkiler yaratmasına ve hidrolojik dengenin bozulmasına neden olan doğal bir olay olarak tanımlanmaktadır (BMÇMS, 1997). Kuraklığın temel özellikleri; frekansı, şiddeti, süresi ve etki alanı olarak sıralanabilir.





Bu çalışmanın amacı Türkiye'deki iklim değişikliği sürecinde, Niğde ilinde kuraklığın meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik ölçekte geliştirilmiş kuraklık indekslerine göre kuraklık durumunu analizlere belirlenmiştir. Niğde özelinde indekslerin karşılaştırılmalı uygulanması ve bölgesel iklim ile tarımsal koşullara uygunluklarının sistematik şekilde incelenmesidir. Bu yaklaşım, kuraklık yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine ve gelecekteki iklim değişikliği senaryolarının bölgesel etkilerinin daha sağlıklı öngörülmesine imkân sağlamaktadır.

Materyal ve Yöntem

Çalışma Alanı

Niğde ili, İç Anadolu Bölgesi'nde yer almakta olup karasal iklim etkisi altındadır. Yazların sıcak ve kurak, kışların ise soğuk ve kar yağışlı geçmesi ile çevresinin yüksek dağlarla çevrili olması, denizel nemin bölgeye ulaşmasını sınırlandırmakta ve yağışların düşük seviyelerde kalmasına neden olmaktadır.

Çalışmada Kullanılan Veriler

Kuraklık analizinde 3 farklı yöntem kullanılmıştır. Kuraklık analizinde kullanılan yöntemlerden SPI ve RDI yönteminde 3,6,9,12 aylık toplam yağış verileri kullanılmaktadır. Analizlerin daha güvenilir sonuç vermesi için uzun dönemli veri kullanılmasına özen gösterilmiştir. Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Savaşım Sözleşmesi (UNCCD) kuraklık indisiyle yağış ve PET değerleri kullanılmıştır. Yağış ve sıcaklık verileri Meteoroloji Bölge Müdürlüğünden temin edilmiştir. PET değerleri ise Drinc programı üzerinden hesaplanmıştır.

Çalışmada Kullanılan Kuraklık Analizi Yöntemleri

Standartlaştırılmış yağış indisi (SPI) yöntemi

Standart Yağış İndeksi (SPI), belirli bir zaman aralığında gerçekleşen yağış miktarının uzun yıllar ortalamasından sapmasının, ilgili döneme ait standart sapmaya oranlanmasıyla hesaplanan istatistiksel bir göstergedir (McKee ve ark., 1993).

$$SPI = \frac{Xi - Xj}{\sigma} \quad (1)$$

Xi=Mevcut Yağış

Xj=Ortalama Yağış

σ=Standart Sapma

Elde edilen SPI değerleri, Çizelge 1'de yer alan eşik değerler dikkate alınarak kuraklık ve nemlilik sınıflarına dönüştürülebilir (McKee, Doesken, & Kleist, 1993).

Çizelge 1 SPI metoduna göre indeks değerleri ve sınıflandırma

SPI İNDİS DEĞERLERİ	SINIFLANDIRMA
2.0 ve fazla	Olağanüstü Nemli
1.60 ile 1.99	Aşırı Nemli
1.30 ile 1.59	Çok Nemli
0.80 ile 1.29	Orta Nemli
0.51 ile 0.79	Hafif Nemli
0.50 ile -0.50	Normal civarı
-0.51 ile -0.79	Hafif Kurak
-0.80 ile -1.29	Orta Kurak
-1.30 ile -1.59	Şiddetli Kurak
-1.60 ile -1.99	Çok Şiddetli Kurak
-2 ve düşük	Olağanüstü Kurak

Kuraklık Keşif İndeksi (RDI)

Kuraklık Keşif İndeksi (RDI), yağış ve potansiyel evapotranspirasyon verilerine dayalı olarak kuraklık koşullarını değerlendiren bir indekstir (Tsakiris ve Vangelis, 2005).

Eşitlikler: (2.1) Kuraklık Keşif İndisinin *başlangıç değeri* ($ak(i)$), ele alınan bir yıl (i) için ve aylık (k) zaman ölçeğine göre aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\alpha(i^k) = \frac{\sum_{j=1}^k Pij}{\sum_{j=1}^k PETij} \quad (2)$$

Burada; Pij ve $PETij$ i -inci yılın j -inci ayının yağış ve potansiyel evapotranspirasyonu ve N ise, mevcut verilere ilişkin toplam yıl sayısını ifade etmektedir. Kuraklık sınıfları aşağıdaki gibidir (Çizelge 2.);





Çizelge 2. Kuraklık Keşif İndisine göre kuraklık sınıflandırması

Sınıflar		İndis değerleri	
Aşırı	nemli	2.00	<
Çok	nemli	1.50	1.99
Hafif	nemli	1.00	1.49
Normal		-0.99	0.99
Hafif	kurak	-1.00	-1.49
Şiddetli	kurak	-1.50	-1.99
Aşırı kurak		> -2.00	

Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ve BMÇSS Aridite İndisi

Bu indeks, genel olarak üst topraktaki ortalama nemlilik koşullarını (toprak nemi/suyu) gösteren klimatolojik bir göstergedir ve nemlilik ile kuraklık durumunu değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır.

UNEP-BMÇSS Aridite İndisi (AI), aşağıda verilen basit eşitlikle hesaplanır:

$$AI = P / PET \quad (2.5)$$

Burada, P, yıllık toplam yağış (mm) ve PET, yıllık toplam düzeltilmiş potansiyel evapotranspirasyondur (mm).

Çizelge 3. UNEP-BMÇSS Aridite İndisi (AI) değerlerinin çölleşme değerlendirmesi açısından sınıflandırılması ve puanlanması

Sınıf	AI değerleri	Puan	Sınıf Açıklaması
1	> 2.0	1.0	Aşırı nemli
2	2.0 — 1.0	1.2	Nemli ve çok nemli
3	1.0 — 0.80	1.4	Yarınemli
4	0.80 — 0.65	1.6	Nemlice-yarınemli
5	0.65 — 0.50	1.8	Kurakça-yarınemli
6	< 0.50	2.0	Kurak ve yarıkurak

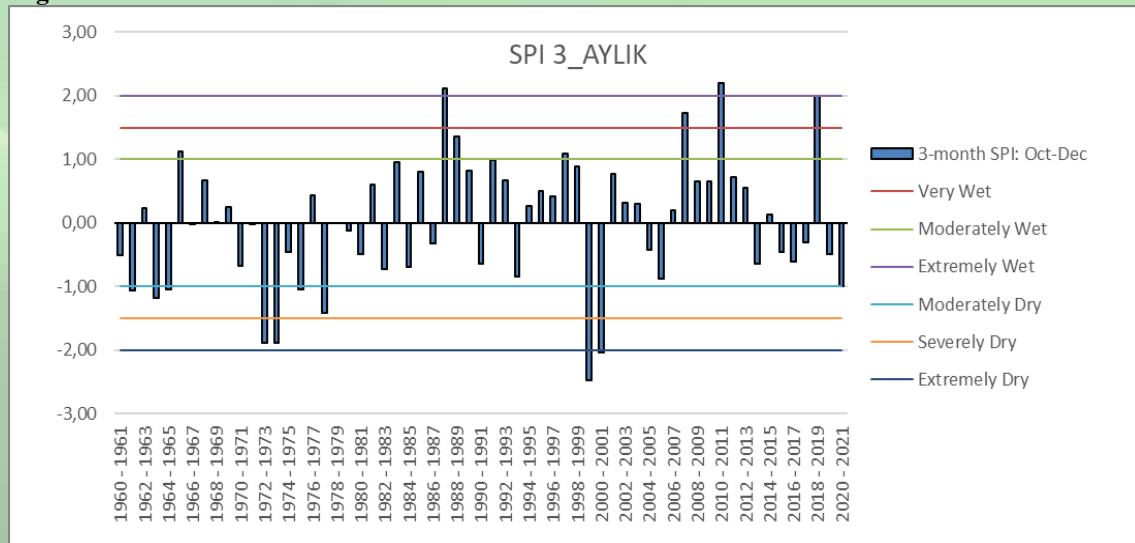
İstatistiksel Analiz

DrinC Yazılımı

Program kuraklık izlemesi, kuraklığın mekânsal dağılımının değerlendirilmesi ve iklim ile kuraklık senaryolarının araştırılması gibi çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerdeki uygulamalar, programın kuraklık analizleri için oldukça yararlı bir araç olduğunu ortaya koymaktadır.

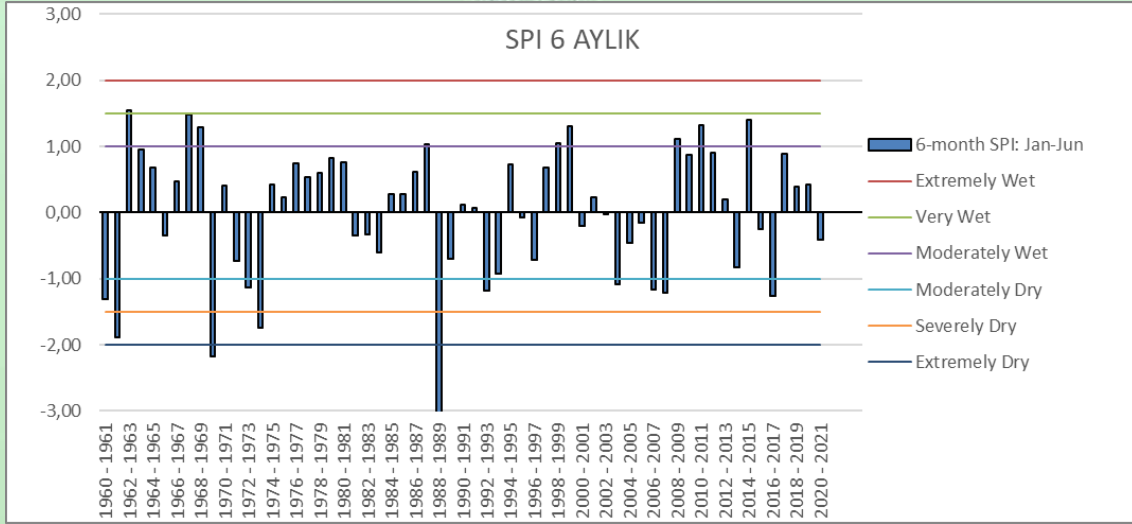
Bulgular ve Tartışma

Niğde İli SPI analizi

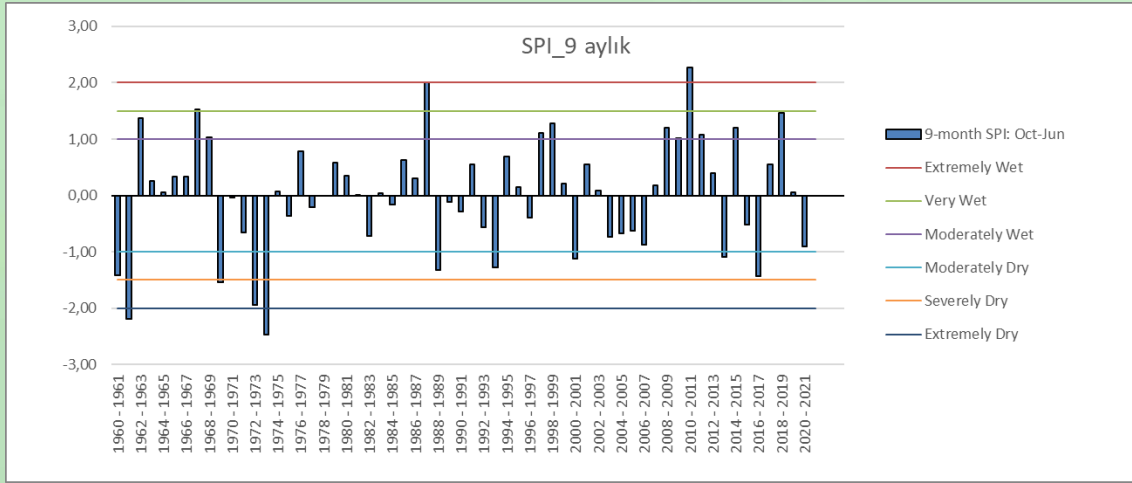


Şekil 1. Niğde İli SPI_3 değerleri

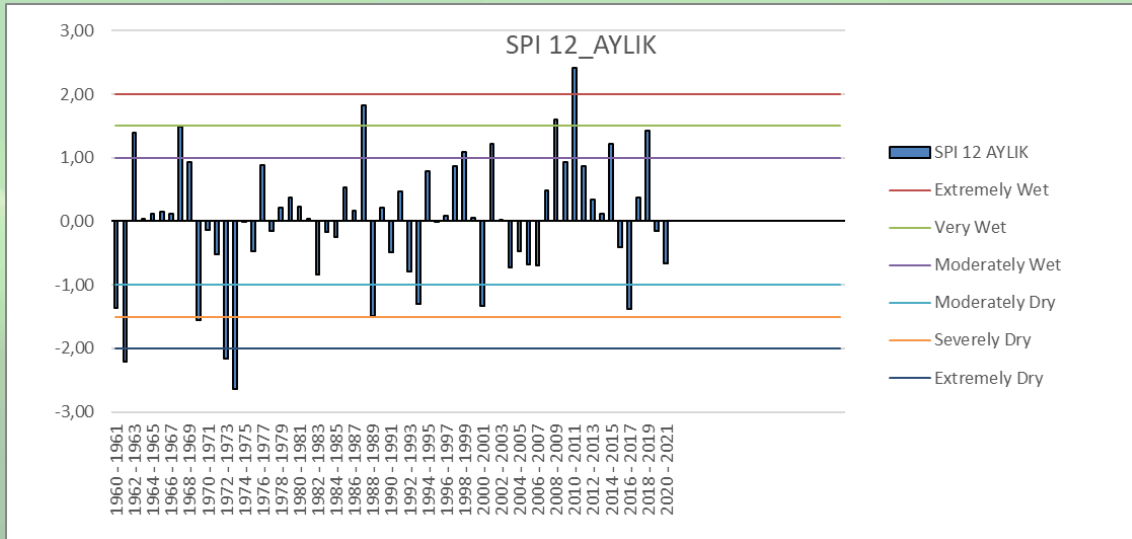




Şekil 2. Niğde İli SPI_6 değerleri



Şekil 3. Niğde İli SPI_9 değerleri



Şekil 4 Niğde İli SPI_12 değerleri

SPI analizi için sadece aylık yağış verileri kullanılarak Drinc programından 3,6,9 ve 12 aylık periyotlarda analizler yapılmıştır. SPI en avantajlı yanı uzun vadede kuraklığı eş zamanlı olarak değerlendirme özelliğidir.

Niğde ili için 1960–2021 dönemine ait 3 aylık SPI (SPI-3) sonuçları, kısa süreli meteorolojik kuraklık koşullarını ortaya koymaktadır. Grafik incelendiğinde, SPI-3 değerlerinin zaman içerisinde pozitif ve negatif



değerler arasında sık geçişler gösterdiği görülmektedir. Bu durum, Niğde ilinde kısa vadeli yağış koşullarının oldukça değişken olduğunu göstermektedir.

Bazı yıllarda SPI değerlerinin -1.5 ile -2.0 aralığına düştüğü ve şiddetli kuraklık koşullarının yaşandığı belirlenmiştir. Buna karşılık, çok nemli ve aşırı nemli sınıflara giren dönemlerin daha kısa süreli ve sınırlı olduğu dikkat çekmektedir. SPI-3 sonuçları, özellikle tarımsal faaliyetleri etkileyen kısa süreli kuraklık riskinin Niğde ilinde sıkça tekrar ettiğini göstermektedir.

6 aylık SPI (SPI-6) sonuçları, orta vadeli meteorolojik kuraklık koşullarını yansıtmaktadır. SPI-6 grafiği incelendiğinde, kısa vadeli dalgalanmaların SPI-3'e göre azaldığı, ancak negatif değerlerin daha uzun süreli devam ettiği görülmektedir.

Bazı dönemlerde SPI değerlerinin -2.0 seviyesinin altına düştüğü, bu dönemlerin şiddetli ve çok şiddetli kuraklık koşullarına karşılık geldiği belirlenmiştir. Pozitif SPI değerleri ise çoğunlukla orta derecede nemli koşulları temsil etmekte olup, uzun süreli nemli periyotların sınırlı olduğu görülmektedir. Bu durum, Niğde ilinde orta vadeli su dengesi açısından kuraklığın baskın bir özellik gösterdiğini ortaya koymaktadır.

9 aylık SPI (SPI-9) sonuçları, daha uzun süreli meteorolojik ve hidrolojik kuraklık eğilimlerini ortaya koymaktadır. Grafik incelendiğinde, negatif SPI değerlerinin daha belirgin ve süreklilik gösteren bir yapı sergilediği görülmektedir. Özellikle bazı dönemlerde SPI değerlerinin -1.5 ve altına düştüğü ve bu durumun uzun süreli kuraklık koşullarına işaret ettiği belirlenmiştir. Buna karşın, pozitif SPI değerleri sınırlı sayıda olup genellikle kısa süreli nemli dönemleri temsil etmektedir. Bu sonuçlar, Niğde ilinde uzun vadeli yağış eksikliğinin önemli bir sorun olduğunu göstermektedir.

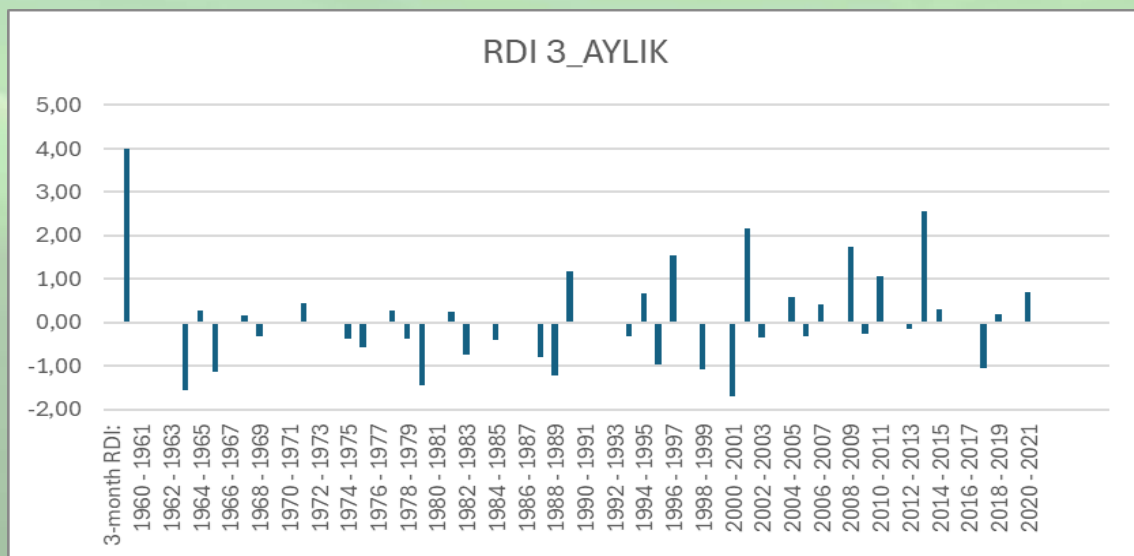
Niğde ili için farklı zaman ölçeklerinde hesaplanan SPI sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, kuraklık karakterinin zaman ölçeğine bağlı olarak farklı özellikler gösterdiği görülmektedir. SPI-3, kısa süreli ve ani gelişen meteorolojik kuraklıkları yansıtırken, SPI-6 ve SPI-9 değerleri kuraklığın daha uzun süreli ve etkili olduğunu ortaya koymaktadır. SPI-12 sonuçları ise uzun vadeli hidrolojik kuraklık koşullarının Niğde ilinde belirgin olduğunu göstermektedir. Kalıcı kuraklıkları görmek açısından 12 aylık hesaplamalar uygundur.

Genel olarak, tüm zaman ölçeklerinde negatif SPI değerlerinin pozitif değerlere kıyasla daha sık ve daha uzun süreli olduğu belirlenmiştir. Özellikle uzun zaman ölçeklerinde gözlenen sürekli negatif SPI değerleri, su kaynakları yönetimi ve tarımsal faaliyetler açısından yüksek kuraklık riskine işaret etmektedir. SPI en güçlü özelliklerinden biri uzun vadede kuraklığı eş zamanlı olarak değerlendirme özelliğidir.

Niğde İli RDI analizi

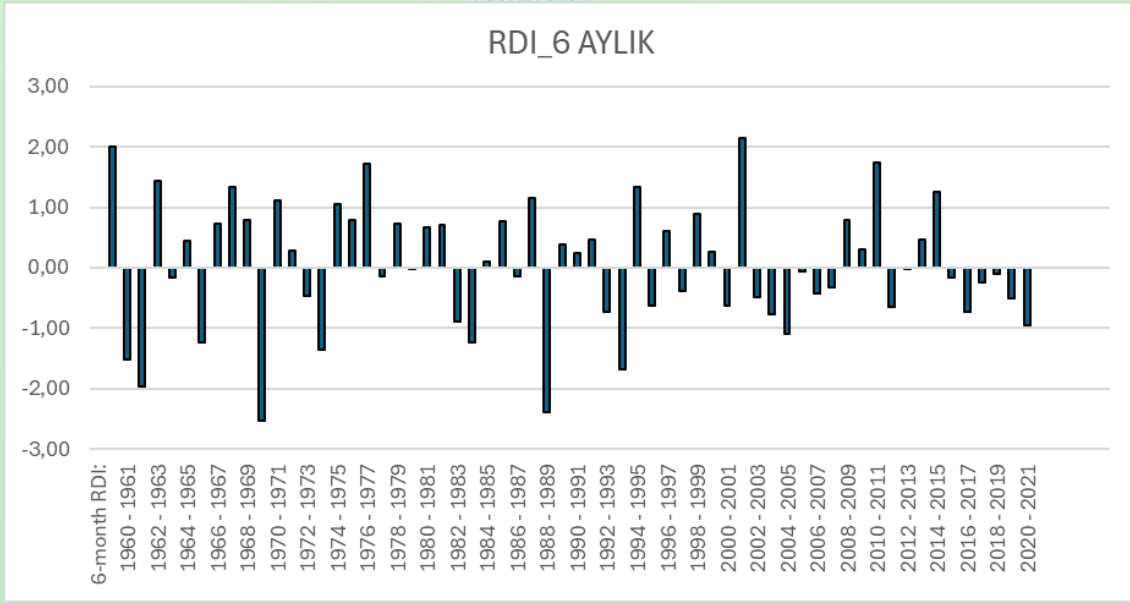
Keşif kuraklık indisi, hesaplanırken 61 yıllık Niğde aylık toplam yağış verileri ve potansiyel evapotranspirasyon (PET) değerleri programa girdi olarak girilmiştir. PET değerleri bilinmediğinden önce programda PET değeri hesaplama modülünden tahmini PET değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplama için 31 yıllık aylık maksimum sıcaklık ve minimum sıcaklık verileri programa girilmiştir. Daha sonra bu PET defğerleri ve 31 yıllık Niğde aylık toplam yağış verileri programa girilip 1960-2021 yılları arası 61 yıllık dönem için yıllık (12 aylık) kuraklık analizi yapılmıştır.

Niğde ili için 1960–2021 dönemine ait 3,6,9,12 aylık hesaplamalar yapılmıştır. Çalışmada ayrıca çalışma alanının yağış rejimini temsil eden Ekim–Haziran dönemini kapsayan 9 aylık RDI değerleri hesaplanmış, ancak literatürde yaygın olarak kullanılan 3, 6 ve 12 aylık ölçekler temel değerlendirme olarak esas alınmıştır.

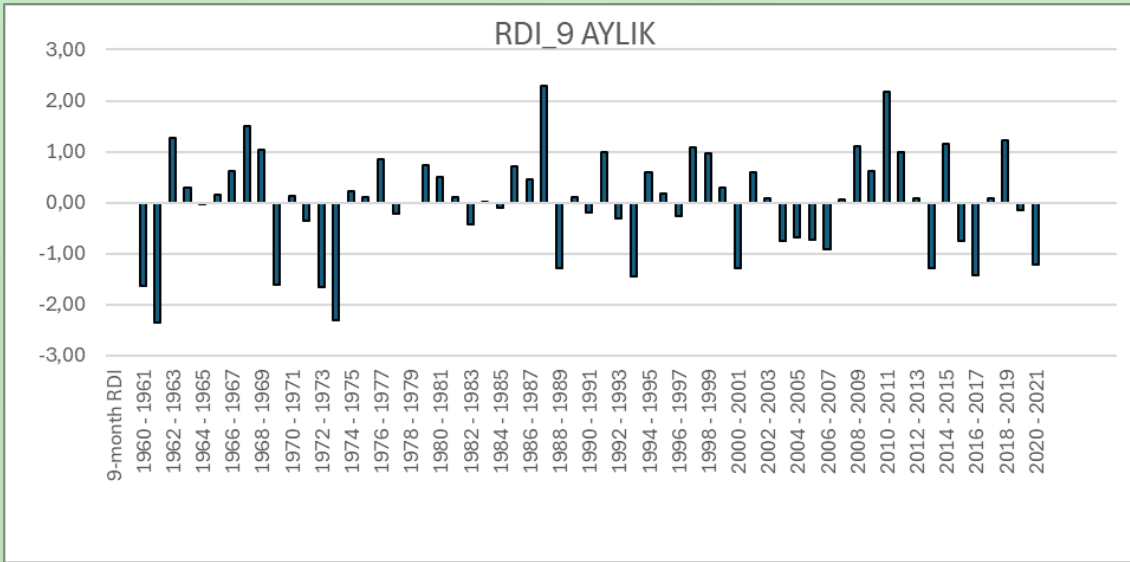


Şekil 5 Niğde İli RDI 3 değerleri

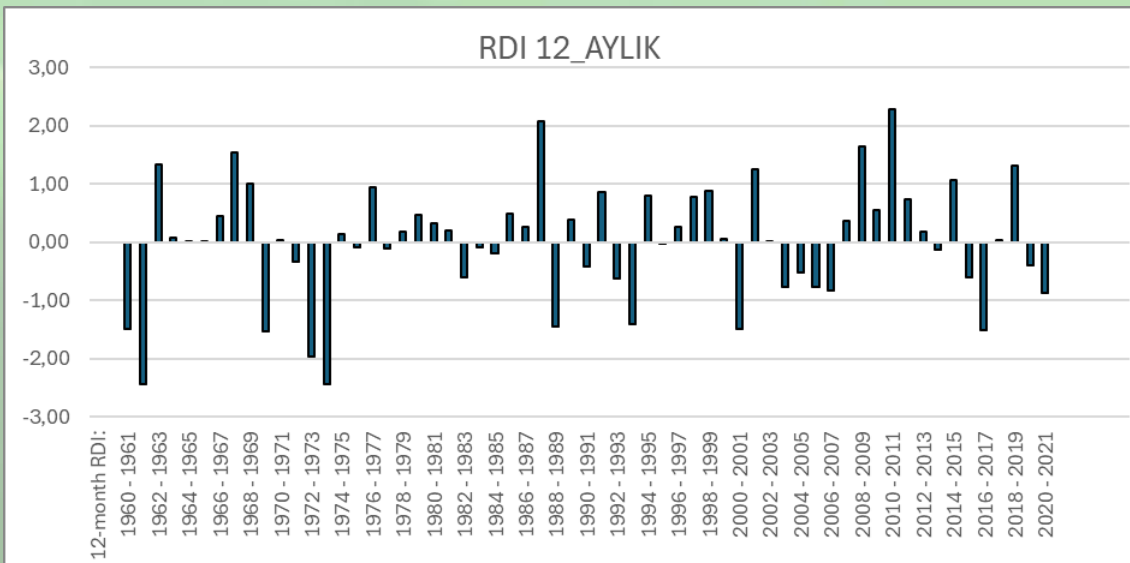




Şekil 6 Niğde İli RDI_6 değerleri



Şekil 7 Niğde İli RDI_9 değerleri



Şekil 8 Niğde İli RDI_12 değerleri





Yağış Sapma İndeksi (RDI-12) sonuçları, uzun süreli meteorolojik ve hidrolojik kuraklık koşullarını ortaya koymaktadır. RDI-12 değerleri, yıllar arasında belirgin dalgalanmalar göstermekle birlikte, negatif sapmaların sürekliliği dikkat çekmektedir.

Analiz sonuçlarına göre bazı yıllarda RDI değerlerinin 1.5 ve altına düştüğü, bu dönemlerin şiddetli ve çok şiddetli kuraklık sınıflarına karşılık geldiği belirlenmiştir. Özellikle bu negatif değerlerin ardışık yıllarda devam etmesi, Niğde ilinde uzun süreli yağış yetersizliğinin önemli bir problem olduğunu göstermektedir. Pozitif RDI değerleri ise sınırlı sayıda olup çoğunlukla normal ve hafif nemli koşulları temsil etmektedir. Aşırı nemli dönemlerin sayıca az ve kısa süreli olduğu görülmektedir. Bu durum, uzun vadede yağış rejiminin kuraklık lehine bir eğilim sergilediğini ortaya koymaktadır.

Niğde ili BM Çölleşme İle Savaşım Sözleşmesi

Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Savaşım Sözleşmesi (UNCCD) Kuraklık İndisi yıllık yağış toplamı ve yıllık toplam potansiyel evapotranspirasyon değerleri baz alınarak hesaplama yapılmaktadır. Hâlihazırda PET değeri olmadığı için öncelikle Drinc programından minimum ve maksimum aylık sıcaklık değerlerinin yanında, aylık ortalama sıcaklık değerleri kullanılarak PET değeri hesaplanmıştır.

Niğde ili için Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından önerilen kuraklık/çölleşme indisi (P/PET) esas alınarak yapılan değerlendirme sonuçları, bölgenin genel olarak kurak ve yarı kurak iklim koşulları altında bulunduğunu göstermektedir.

İncelenen yıllar boyunca P/PET oranlarının büyük çoğunluğunun 0.20–0.65 aralığında değiştiği ve bu değerlerin ağırlıklı olarak “kurak” ve “yarı kurak” sınıflarında yer aldığı görülmektedir. Özellikle 0.20–0.50 aralığındaki değerlerin sık tekrarlanması, Niğde ilinde yağışın potansiyel buharlaşma-terleme ihtiyacını karşılamada yetersiz kaldığını ortaya koymaktadır. Bazı yıllarda indeks değerlerinin 0.65’in üzerine çıkarak “yarı nemli” sınıfa yaklaştığı görülsede, bu dönemlerin süreklilik göstermediği ve kısa süreli olduğu dikkat çekmektedir. Uzun dönem ortalaması dikkate alındığında, nemli iklim koşullarının baskın olmadığı anlaşılmaktadır.

Bu sonuçlar, Niğde ilinin çölleşmeye hassas bölgeler arasında yer aldığını ve özellikle tarım, mera alanları ve su kaynakları açısından iklim kaynaklı risklerin yüksek olduğunu göstermektedir. UNEP kuraklık indisi sonuçları, SPI ve RDI gibi diğer kuraklık göstergeleriyle birlikte değerlendirildiğinde, bölgede kalıcı ve yapısal kuraklık eğiliminin varlığını desteklemektedir. Birleşmiş Milletler kuraklık indisi sonuçları, istatistiksel kuraklık indeksleri (SPI, RDI) ile büyük ölçüde uyum göstermektedir.

Çizelge 4. BM kuraklık sınıflandırması

<i>Hidrolojik Yıl</i>	<i>Toplam Yağış</i>	<i>Toplam PET</i>	<i>AI değerleri</i>	<i>Sınıf Açıklaması</i>
1960-1961	236,9	665,8	0,36	KURAK VE YARIKURAK
1961-1962	190,2	686,3	0,28	KURAK VE YARIKURAK
1962-1963	441,5	658,0	0,67	NEMLİCE-YARINEMLİ
1963-1964	331,1	635,1	0,52	KURAKÇA-YARINEMLİ
1964-1965	336,2	655,8	0,51	KURAKÇA-YARINEMLİ
1965-1966	338,8	670,4	0,51	KURAKÇA-YARINEMLİ
1966-1967	336	625,8	0,54	KURAKÇA-YARINEMLİ
1967-1968	450	642,5	0,70	NEMLİCE-YARINEMLİ
1968-1969	401,6	654,7	0,61	KURAKÇA-YARINEMLİ
1969-1970	225,9	670,5	0,34	KURAK VE YARIKURAK
1970-1971	318,2	638,6	0,50	KURAK VE YARIKURAK
1971-1972	290,4	642,8	0,45	KURAK VE YARIKURAK
1972-1973	192,6	644,6	0,30	KURAK VE YARIKURAK
1973-1974	169,5	644,5	0,26	KURAK VE YARIKURAK
1974-1975	326,7	659,9	0,50	KURAK VE YARIKURAK
1975-1976	294,3	618,1	0,48	KURAK VE YARIKURAK
1976-1977	397,9	660,2	0,60	KURAKÇA-YARINEMLİ
1977-1978	316,4	655,9	0,48	KURAK VE YARIKURAK
1978-1979	344,2	669,8	0,51	KURAKÇA-YARINEMLİ
1979-1980	356,5	665,5	0,54	KURAKÇA-YARINEMLİ
1980-1981	345,2	658,3	0,52	KURAKÇA-YARINEMLİ
1981-1982	330,5	646,9	0,51	KURAKÇA-YARINEMLİ
1982-1983	269,6	632,9	0,43	KURAK VE YARIKURAK
1983-1984	315,9	656,1	0,48	KURAK VE YARIKURAK
1984-1985	309,7	662,2	0,47	KURAK VE YARIKURAK
1985-1986	368,5	667,8	0,55	KURAKÇA-YARINEMLİ
1986-1987	339,8	636,0	0,53	KURAKÇA-YARINEMLİ
1987-1988	482,2	640,3	0,75	NEMLİCE-YARINEMLİ





Çizelge 4. (Devam)

1988-1989	229,4	682,4	0,34	KURAK VE YARIKURAK
1989-1990	344,4	642,9	0,54	KURAKÇA-YARINEMLİ
1990-1991	292,9	676,3	0,43	KURAK VE YARIKURAK
1991-1992	363,5	625,3	0,58	KURAKÇA-YARINEMLİ
1992-1993	272,3	649,1	0,42	KURAK VE YARIKURAK
1993-1994	240,3	704,6	0,34	KURAK VE YARIKURAK
1994-1995	389,8	677,8	0,58	KURAKÇA-YARINEMLİ
1995-1996	326,7	675,5	0,48	KURAK VE YARIKURAK
1996-1997	334,6	650,7	0,51	KURAKÇA-YARINEMLİ
1997-1998	395,9	697,7	0,57	KURAKÇA-YARINEMLİ
1998-1999	415,4	707,0	0,59	KURAKÇA-YARINEMLİ
1999-2000	331,5	684,7	0,48	KURAK VE YARIKURAK
2000-2001	239	724,8	0,33	KURAK VE YARIKURAK
2001-2002	426	680,8	0,63	KURAKÇA-YARINEMLİ
2002-2003	328,3	681,8	0,48	KURAK VE YARIKURAK
2003-2004	276,8	684,5	0,40	KURAK VE YARIKURAK
2004-2005	293,5	696,6	0,42	KURAK VE YARIKURAK
2005-2006	280,4	702,9	0,40	KURAK VE YARIKURAK
2006-2007	278,8	705,1	0,40	KURAK VE YARIKURAK
2007-2008	365,6	713,6	0,51	KURAKÇA-YARINEMLİ
2008-2009	460,8	667,2	0,69	NEMLİCE-YARINEMLİ
2009-2010	402,2	759,5	0,53	KURAKÇA-YARINEMLİ
2010-2011	540,4	685,2	0,79	NEMLİCE-YARINEMLİ
2011-2012	396,4	687,8	0,58	KURAKÇA-YARINEMLİ
2012-2013	354,3	712,0	0,50	KURAK VE YARIKURAK
2013-2014	336	723,5	0,46	KURAK VE YARIKURAK
2014-2015	426,4	699,9	0,61	KURAKÇA-YARINEMLİ
2015-2016	298,9	732,7	0,41	KURAK VE YARIKURAK
2016-2017	236,2	716,9	0,33	KURAK VE YARIKURAK
2017-2018	356,8	746,7	0,48	KURAK VE YARIKURAK
2018-2019	445,4	701,2	0,64	KURAKÇA-YARINEMLİ
2019-2020	316	724,3	0,44	KURAK VE YARIKURAK
2020-2021	280,8	721,1	0,39	KURAK VE YARIKURAK

Sonuç

Bu çalışmada, Niğde iline ait 1960–2021 yılları arasındaki 61 yıllık meteorolojik veriler kullanılarak kuraklık analizi gerçekleştirilmiştir. Kuraklık koşullarının belirlenmesi amacıyla Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI), Keşif Kuraklık İndeksi (RDI) ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) kuraklık indeksi kullanılmıştır.

Elde edilen bulgular, Niğde ilinde genel olarak kurak ve yarı kurak iklim koşullarının hâkim olduğunu göstermektedir. Özellikle kısa ve orta zaman ölçeklerinde kuraklık ve nemli dönemlerin yıl içerisinde dalgalanmalar gösterdiği belirlenmiştir. Buna karşılık uzun dönemde kuraklık eğiliminin daha belirgin hâle geldiği tespit edilmiştir. Birleşmiş Milletler çölleşme ile mücadele kriterlerine göre yapılan değerlendirmelerde de kurak ve yarı kurak sınıfların ön planda olduğu görülmektedir.

Araştırma sonuçları, kullanılan farklı kuraklık indekslerinin büyük ölçüde benzer eğilimler ortaya koyduğunu göstermektedir. Bu durum, elde edilen bulguların güvenilirliğini desteklemekte ve bölgedeki kuraklık riskinin önemli bir çevresel sorun olduğunu ortaya koymaktadır. Niğde ilinde kuraklık riskinin azaltılabilmesi için su kaynaklarının etkin yönetimi ve kontrolü büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda yeraltı su kaynaklarının aşırı kullanımının önlenmesi amacıyla denetimlerin artırılması ve su kullanım planlarının oluşturulması gerekmektedir. Ayrıca kuraklık erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi ve meteorolojik verilerin düzenli olarak izlenmesi, kuraklık riskinin önceden belirlenmesine ve gerekli önlemlerin zamanında alınmasına olanak sağlayacaktır.

Tarımsal faaliyetlerde su kullanım verimliliğinin artırılması da kuraklıkla mücadelede önemli bir unsurdur. Bu doğrultuda damla sulama ve yağmurlama gibi modern sulama tekniklerinin yaygınlaştırılması, su tasarrufu açısından önemli katkılar sağlayacaktır. Kuraklık riskinin yüksek olduğu bölgelerde tarımsal üretimde ürün deseninin yeniden planlanması da önemli bir strateji olarak değerlendirilmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda kuraklık analizlerinin daha kapsamlı hale getirilebilmesi için yalnızca meteorolojik verilerin değil, aynı zamanda yeraltı su seviyesi, toprak nemi ve akım verilerinin de değerlendirilmesi önerilmektedir. Bu sayede kuraklığın hidrolojik ve tarımsal boyutları daha ayrıntılı bir şekilde incelenebilecektir.





Sonuç olarak, Niğde ilinin kuraklık açısından hassas bir bölgede yer aldığı ve bu durumun özellikle tarımsal faaliyetler üzerinde önemli etkiler oluşturabileceği belirlenmiştir. Bu nedenle sürdürülebilir su yönetimi, uygun ürün deseni planlaması, modern sulama tekniklerinin yaygınlaştırılması ve kurumsal koordinasyonun güçlendirilmesi kuraklığın olumsuz etkilerinin azaltılmasında kritik bir rol oynamaktadır.

Kaynaklar

- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, 179–184.
- MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü), <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/kuraklik-analizi.aspx?d=yontemsinif#sfB> , Erişim Tarihi: 2026
- Tigkas, D., Vangelis, H., Proutsos, N., & Tsakiris, G. (2022). Incorporating aSPI and eRDI in drought indices calculator (Drinc) software for agricultural drought characterisation and monitoring. *Hydrology*, 9(6), 100.
- Tsakiris, G., & Vangelis, H. (2005). Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *European Water*, 9/10, 3–11.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2020). Tarımsal üretim ve su yönetimi raporları. Ankara.
- Turgu, E., Komoşçu, A. Ü., & Sönmez, F. K. (2003). Standartlaştırılmış yağış indisi (SPI) yöntemi ile kuraklık analizi.
- Türkeş, Murat. (2012). Çanakkale'nin 2008 yılı büyük orman yangınlarının meteorolojik ve hidroklimatolojik analizi. Co. 10. 195-218. 10.1501/Cogbil_0000000137.
- UNEP (1997). *World Atlas of Desertification*. United Nations Environment Programme.





Value-added Marketing Strategies in Traditional Dairy Products: Geographical Indication, Branding, and Storytelling

Raheen Rizwan^{1*}, Mutlu Bulut²

¹Forman Christian College University, Faculty of Social Sciences, Department of Economics, 54600, Lahore, Pakistan.

²Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Agricultural Sciences and Technologies, Department of Animal Production and Technologies, 51240, Niğde, Türkiye.

Abstract

Traditional dairy products constitute an important element of cultural heritage and rural economies, particularly in regions with strong gastronomic traditions. In increasingly competitive and globalized markets, the sustainability and market success of these products depend on the implementation of value-added marketing strategies. This study aims to provide a comprehensive review of the literature on three key strategies—geographical indication (GI), branding, and storytelling—in the context of traditional dairy products. The study adopts a narrative literature review approach, examining national and international studies that address the role of these strategies in enhancing product value, differentiation, and consumer perception. Geographical indications are discussed as tools for protecting origin, authenticity, and quality, while branding is evaluated in terms of creating market recognition and competitive advantage. Storytelling is analyzed as a means of conveying cultural identity, tradition, and production processes, thereby strengthening emotional engagement with consumers. The findings of the review indicate that integrating GI certification, effective branding strategies, and storytelling practices contributes significantly to increasing perceived product value, consumer trust, and willingness to pay a premium. Furthermore, these strategies support not only economic sustainability but also the preservation of cultural heritage and the development of rural areas. In conclusion, the study highlights the importance of a holistic and integrated marketing approach in promoting traditional dairy products and suggests directions for future research and practical applications.

Key Words: *Traditional dairy products, geographical indication, branding, storytelling*





Oxidative Stress and Its Role in Fear-Related Behaviors: Correlations with Pro-Inflammatory Cytokines in Wild Doves and Domesticated Pigeons

Mudathir Y. Abdulrahman^{1,2*}, Saber Y. Adam^{1,2}, Abbas A. Abdelrahman², Abdelkareem A. Ahmed²,
Mohamed Osman Abdalrahem Essa³, Abdallah A. Basher¹,
Hosameldeen Mohamed Husien¹, Mengzhi Wang¹

¹Yangzhou University, College of Animal Science and Technology, Laboratory of Metabolic Manipulation of Herbivorous Animal Nutrition, Yangzhou, 225009, Jiangsu, China.

²Darfur University College, Biomedical Research Institute, Nyala, Sudan.

³Yangzhou University, College of Veterinary Medicine, Yangzhou, 225009, Jiangsu, China

Abstract

The domestication of pigeons (*Columba livia*) occurred several years ago, largely due to their navigational abilities over long distances. In contrast, doves (*Columba guinea*) continue to thrive in the wild, particularly in agricultural regions and areas with human habitation where food is abundant. There is a lack of information regarding fearfulness behavior in these species within Sudan. We hypothesized that *Columba. guinea* and *Columba. livia* would exhibit varying levels of fear-related behavior. The study involved 600 adult birds, with 300 individuals from each species. We assessed tonic immobility, blood parameters, plasma corticosterone (CORT) levels, pro-inflammatory cytokines, and markers of oxidative stress in both groups. The findings revealed that male *Columba. livia* and *Columba. guinea* exhibited reduced tonic immobility responses compared to female *Columba. guinea* ($p < 0.05$). Furthermore, females of *Columba. guinea* displayed lower tonic immobility responses than *Columba. livia* females ($p < 0.05$). The H/L ratio was found to be higher in *Columba. guinea* than in *Columba. livia*. Corticosterone levels were significantly elevated ($p < 0.05$) in female *Columba. guinea* compared to their *Columba. livia* counterparts. Additionally, interleukin-2 and interleukin-4 levels were significantly higher ($p < 0.05$) in *Columba. guinea* females than in *Columba. livia* females, while TNF- α levels were greater in *Columba. livia* than in *Columba. guinea*. Moreover, *Columba. guinea* showed significant increases ($p < 0.05$) in reactive oxygen species (ROS) and malondialdehyde (MDA) levels, alongside decreases in superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), and glutathione peroxidase (GSH-Px) activity when compared to *Columba. livia* ($p < 0.05$). We conclude that differences in fearfulness behavior may be linked to variations in pro-inflammatory cytokines, oxidative stress, and strain-specific factors that influence the domestication of *Columba. guinea*.

Key Words: Domestication; Dove; Tonic immobility; Pro-inflammatory cytokines





Antifungal Activity of Methanolic Leaf Extract of *Gmelina arborea* Roxb. ex Sm. Against *Fusarium oxysporum* Schltdl Causing Damping -Off Disease

Muhammed, H.M.¹, Danazumi, I.B.², Bello, H.², Yahaya, A.², Stephen, D.Y¹ and Muhammad, H.H²

¹Department of Biology, Ibrahim Badamasi Babangida University, Lapai, Niger State

²Department of Botany, Ahmadu Bello University, Zaria, Kaduna State, Nigeria

Abstract

Fusarium oxysporum, the causal agent of damping-off disease, is a destructive soilborne pathogen that significantly reduces seedling establishment and crop yield. Although synthetic fungicides remain effective in controlling this pathogen, their continuous and excessive use has led to challenges such as resistance development, environmental pollution, and health hazards. In this study, the antifungal activity of methanolic leaf extract of *Gmelina arborea* Roxb. ex Sm. was evaluated against *F. oxysporum* causing damping off disease. Fresh leaves of *Gmelina arborea* were collected, authenticated, dried, and extracted using 70% methanol by maceration. Pure strains of *Fusarium oxysporum* were obtained and identified from Mycology Laboratory, Department of Crop protection, Ahmadu Bello University, Zaria. Phytochemical screening of *Gmelina arborea* leaf extract revealed the presence of alkaloids, flavonoids, phenols, tannins, saponins, terpenoids, steroids, and cardiac glycosides, while anthraquinones were absent. Quantitative analysis showed high levels of flavonoids (125.41 mg/g) and phenols (124.98 mg/g), both known for their antimicrobial activity. The antifungal effect of the extract was tested in vitro by incorporating graded concentrations (5–25 mg/mL) into potato dextrose agar and monitoring mycelial growth inhibition. Results demonstrated a concentration-dependent effect, with maximum inhibition (68.3%) observed at 20 mg/mL. Interestingly, inhibition decreased at 25 mg/mL (54.9%), possibly due to antagonistic interactions at higher concentrations. These findings demonstrate that *G. arborea* possesses promising antifungal potential against *F. oxysporum*. The presence of bioactive phytochemicals, particularly flavonoids and phenols, likely accounts for the observed inhibitory effects. Therefore, the extract could serve as a natural alternative to synthetic fungicides in the management of damping-off disease.

Key Words: Antagonistic ; fungicides; maceration ; Phytochemical screening; soil borne pathogen

Introduction

Fungal pathogens are among the most significant biological threats to global food production (Anand and Rajeshkumar, 2022). One such pathogen is *Fusarium oxysporum*, a soilborne ascomycete fungus responsible for a variety of plant diseases, including damping-off, root rot, wilt, and vascular discoloration in crops such as tomato (*Solanum lycopersicum*), okra (*Abelmoschus esculentus*), beans (*Phaseolus spp.*), spinach (*Spinacia oleracea*), and many others (Haruna et al., 2024). Among these diseases, damping-off is particularly notorious in nurseries and early crop stages, where it causes the rapid wilting and collapse of seedlings, leading to poor crop establishment and severe yield losses (Delai et al., 2024). A wide range of crops are susceptible to damping-off disease, especially during the seedling stage include tomato, cabbage (*Brassica oleracea*) (Pagoch et al., 2015) lettuce (*Lactuca sativa*), carrot (*Daucus carota*), pepper (*Capsicum spp.*), onion (*Allium cepa*), cucumber (*Cucumis sativus*), okra, spinach, melon (*Cucumis melo*), eggplant (*Solanum melongena*), maize (*Zea mays*), and soybean (*Glycine max*) (Agrios, 2005; Lamichhane et al., 2017). These crops are especially vulnerable under conditions of high humidity, waterlogged soil, and poor aeration, which favour the growth and spread of damping-off pathogens such as *Fusarium spp.*, *Pythium spp.*, and *Rhizoctonia solani* (Lamichhane et al., 2017).

Damping-off caused by *Fusarium oxysporum* is prevalent in warm and moist soil environments, conditions common in tropical and subtropical regions. The pathogen can survive in soil and plant debris for long periods as chlamydospores, which are highly resistant to environmental stress (Admas and Kebede, 2024).). When seedlings are infected with *F. oxysporum*, the fungus colonizes the root cortex and vascular tissues, causing root decay, vascular browning, and wilting that often result in seedling death within days of germination (Sanogo and Ji, 2021).

Damping-off disease significantly impacts crop production worldwide, especially in nurseries and early crop stages, by causing rapid seedling decay and death, leading to poor crop establishment and reduced yields. Globally, this disease is responsible for substantial economic losses in vegetable, cereal, and ornamental crop production, particularly under high humidity and poor soil drainage conditions (Lamichhane et al., 2017). In Nigeria, damping-off is a major constraint in both subsistence and commercial farming, affecting crops such as tomato, pepper, okra, and leafy vegetables. Its prevalence is heightened by the country's tropical climate, characterized by warm temperatures and frequent rainfall, which create ideal conditions for damping-off pathogens like *Fusarium*





oxysporum, *Pythium spp.*, and *Rhizoctonia solani* (Pathak, (2023); Aigbe *et al.*, 2017). Farmers often suffer seedling losses in nurseries, resulting in increased costs for replanting and delayed crop cycles, thereby threatening food security and income.

Chemical fungicides such as benomyl and carbendazim have been traditionally employed to manage *F. oxysporum*-induced damping-off disease. However, over-reliance on these chemicals has resulted in resistance development in pathogen populations, environmental degradation, and toxicity to non-target organisms (Yoon *et al.*, 2022). There is an increasing call for sustainable and eco-friendly alternatives to synthetic fungicides.

Plant-based extracts have emerged as promising alternatives because they are biodegradable, cost-effective, and environmentally safe. Medicinal plants, in particular, are rich in bioactive compounds such as flavonoids, tannins, alkaloids, and phenols, which have shown strong antimicrobial properties (Omotunde *et al.*, 2025). One such plant is *Gmelina arborea* is a fast-growing tree belonging to the family Lamiaceae. Traditionally used in herbal medicine across Africa and Asia, *Gmelina arborea* has been reported to possess antifungal, antibacterial, antioxidant, and anti-inflammatory properties (Nwachukwu *et al.*, 2022; Aliyu *et al.*, 2023). While preliminary studies have confirmed the antimicrobial potential of *G. arborea*, its antifungal efficacy against *Fusarium oxysporum*, particularly in relation to damping-off disease, remains underexplored.

This research is aim to fill that gap by providing scientific evidence on the efficacy of methanolic *G. arborea* leaf extract as a natural alternative to synthetic fungicides against *Fusarium oxysporum* causing damping off disease of crops.

Materials and Methods

Study Area

The study was carried out in the Department of Pharmacognosy and Drug Development, and Department of Microbiology, Ahmadu Bello University, Zaria, Kaduna State, Nigeria. Zaria is located between latitude 11°09'N, longitude 7°42'E at an altitude of 686 meters above sea level.

Sample Collection of *Gmelina arborea* Plant and the Fungal Pathogen

The leaves of *Gmelina arborea* were collected from the Botanical garden of Ahmadu Bello University, Zaria, and authenticated in the herbarium of the Department of Botany, Ahmadu Bello University, Zaria. Pure strains of *Fusarium oxysporum* were obtained and identified from Mycology Laboratory, Department of Crop protection, Ahmadu Bello University, Zaria.

Preparation of Extract of Leaves of *Gmelina Arborea*

This was done using maceration method (Ayoola *et al.*, 2008). 56g of the sample was weighed using an electronic balance (Atom model), ground into powder with a laboratory blender (Chins, 2.00 RPM), and dissolved in 70% methanol in an aspirator bottle. After 72 hours of extraction, the supernatant was decanted into a beaker, then transferred to a rotary evaporator (Haulolph) to remove the methanol solvent, leaving the extracted oil. The purified oil was collected and stored in a sealed bottle for further analysis.

Quantitative and Qualitative Phytochemical Screening of *Gmelina arborea*

Determination of Total Phenolic Content (TPC)

Estimation of total phenol content was measured spectrophotometrically by Folin–Ciocalteu colorimetric method, using Gallic acid as the standard. The total phenol was determined with the help of standard curve prepared from pure phenolic standard (Gallic acid) (Alhakmani *et al.*, 2013; Nikolaeva *et al.*, 2022).

Determination of Total Flavonoid Content (TFC)

The total flavonoid content (TFC) was determined using the aluminium chloride colorimetric assay (Farooq *et al.*, 2021).

Determination of Total Alkaloid Content (TAC)

Total Alkaloid Content was quantified by spectrophotometric method. This method was based on the reaction between alkaloid and bromocresol green (BCG). (Pourahadi, *et al.*, 2019).

Determination of Tannin Content

The tannins were determined by Folin - Ciocalteu method. The tannin content was expressed in terms of mg of GAE /g of extract (Koleva *et al.*, 2021).

Determination of Saponins Content

Total saponins was determined in accordance to the method of Ajiboye *et al.* (2020).

Determination of Anthraquinone Content

Anthraquinone content was determined by the method of Enin *et al.* (2021).





Determination of Cardiac Glycoside Content

The Cardiac Glycoside was determined by the method of Onyekachi (2021).

Determination of Terpenoid Content

The terpenoid content was determined by the method of Kajal and Singh, (2019).

Determination of Steroid Content

Steroid content was estimated using the method as described by Malik (2017).

Determination of Total Carbohydrate Content

The phenol-sulfuric acid was determined by the method of Nielsen (2024).

Evaluating The Antifungal Activity of *Gmelina arborea* Extracts Against *Fusarium oxysporum*

A pure culture of *Fusarium oxysporum* was obtained from the Mycology Laboratory, Department of Crop Protection, Ahmadu Bello University, Zaria. The culture was sub-cultured on fresh Potato Dextrose Agar (PDA) and incubated at 27°C for 7 days to obtain actively growing mycelia suitable for inoculation. The already-prepared methanolic extract of *Gmelina arborea* was incorporated into molten PDA medium at different concentrations (5mg/mL, 10 mg/mL, 15 mg/mL, 20mg/mL and 25 mg/mL). Appropriate volumes of the extract were mixed with PDA cooled to 45–50°C, ensuring even distribution. 25 mL of each amended medium was poured into sterile Petri dishes. After the media solidified, each Petri dish was inoculated at the center with a 2 mm mycelial disc taken from the edge of a 7-day-old culture of *P. colocasiae*. The plates were sealed with parafilm to prevent contamination and incubated at 27°C for 7 days.

Data Collection

Fungal growth was monitored daily by measuring colony diameter in two perpendicular directions. The extent of inhibition was determined by comparing treated plates with control plates. The percentage of mycelial growth inhibition was calculated using the formula:

$$\text{Percent Inhibition (\%)} = \frac{C-T}{C} \times 100$$

Where:

- C = colony diameter in control plate (mm)
- T = colony diameter in treatment plate (mm)

Experimental Design And Statistical Analysis

One way ANOVA was used to determine the effect of different concentrations of the extract on the growth inhibition of *Fusarium oxysporum*. Where significant difference is observed between the treatments. Means were separated using least significant difference (LSD). All analysis were performed using SPSS at p<0.005 level of significance.

Results

Qualitative Phytochemical Analysis Screening

The qualitative phytochemical analysis of *Gmelina arborea* extracts shows the presence of nine phytochemicals including, Alkaloids, Tannins, Saponins, Flavonoids, Terpenoids, Steroids, Phenols, Cardiac Glycosides and Carbohydrates. The results also show that Anthraquinones are absent in *Gmelina arborea* extracts (Table 1).

Table 1: Phytochemical compounds present in the methanolic leaf extract of *Gmelina arborea*

S/No	Phytoconstituents	Test	Inference
1	Alkaloids	Dragendorff test	+
2	Cardiac Glycosides	Keller-Kiliani test	+
3	Saponins	Frothing test	+
4	Phenolic compounds	Lead acetate test	+
5	Tannins	Ferric Chloride test	+
6	Steroids	Salkowski test	+
7	Carbohydrates	Molisch test	+
8	Flavonoids	Shinoda test	+
9	Terpenoids	Liebermann Burchard test	+
10	Anthraquinones	Bontragers test	-

Keys; + PRESENT, ABSENT





Quantitative Phytochemical Screening of the Extract

Quantitative phytochemical screening showed the quantity of phytochemicals associated with the methanolic solution of *Gmelina arborea*. It was found out the methanolic extract has the highest phytochemical content in Flavonoids 125.41mg/g.

Table 2: Quantitative phytochemical compounds present in the methanolic leaf extract of *Gmelina arborea*

S/N	CONSTITUENT	<i>Gmelina arborea</i> (mg/g)
1	Alkaloids	12.02
2	Flavonoids	125.41
3	Saponins	22.21
4	Phenolic compounds	124.98
5	Tannins	85.87

Table 3: Effect of different concentrations of methanolic leaf extract of *Gmelina arborea* on percentage mycelial growth inhibition of *Fusarium oxysporum*

Concentration (mg/ml)	Inhibition (%)
Control	26.3 ± 12.2c
5	46.8 ± 19.6b
10	49.6 ± 6.3b
15	53.6 ± 10.7ba
20	68.3 ± 17.3a
25	54.9 ± 2.6ba

Data are expressed as mean ± standard deviation. Means that share the same subscript letter are not significantly different from each other, as determined by one-way ANOVA followed by Duncan's Multiple Range Test (DMRT) at $p > 0.05$.

Discussion

The present study revealed that *Gmelina arborea* leaves contain a wide range of phytochemicals, including alkaloids, flavonoids, phenolic compounds, tannins, saponins, terpenoids, steroids, and cardiac glycosides, while anthraquinones were absent. The high levels of flavonoids and phenolic compounds are of particular significance, as these metabolites are well known for their antioxidant and antifungal properties. Their abundance may be explained by the plant's defensive metabolic strategies, since secondary metabolites are often synthesized in response to environmental stress, herbivory, or pathogen attack. Methanol, the extraction solvent used in this study, is particularly effective at solubilizing flavonoids and phenolics, which may account for their prominence in the extract.

These findings corroborates with Musa (2022), who reported the presence of alkaloids, flavonoids, tannins, and saponins in *G. arborea* leaves, similarly, Seepe *et al.* (2021) confirmed the presence of flavonoids, phenolic compounds, and cardiac glycosides. However, the absence of anthraquinones contrasts with Singh *et al.* (2020), who reported their presence in the bark, suggesting differences due to plant part, solvent, or ecological factors.

The antifungal assays further supports the role of these phytochemicals, with *G. arborea* extracts producing concentration-dependent inhibition of *Fusarium oxysporum*. Inhibition increased steadily with increased extract concentration and peaked at 20 mg/ml, but declined at 25 mg/ml, showing that higher concentrations did not always enhance activity. Similarly, non-linear responses have been reported by Seepe *et al.*, (2021; Musa (2022) in plant-based antifungal studies, where inhibition decreases at high concentrations due to antagonistic phytochemical interactions or reduced solubility of bioactive compounds. Recent studies have reported comparable patterns. Gutierrez *et al.*, (2017), demonstrated that high concentrations of plant compounds initially suppressed bacterial growth but subsequently permitted recovery. Similarly, investigations on *Gmelina arborea* have shown that its extracts exert strong antibacterial effects at lower concentrations, yet the inhibitory activity tends to stabilize as concentrations increase (Singh and Mijakovic, 2022).

This study found that *Gmelina arborea* has strong inhibitory effects that increase with concentration before stabilizing, showing its potential as a natural source of therapeutic compounds. These effects highlight the importance of its phytochemicals, which act together in complex ways, and support its role as a promising alternative to synthetic drugs for managing microbial activity and related health issues.

The significant inhibitory effects of *G. arborea* align with reports of other flavonoid- and tannin-rich plant extracts showing strong antifungal activity. The findings of this study are consistent with those of Adedire *et al.* (2021), who examined the biocontrol potential of *Gmelina arborea* wood shavings against cassava root-rot pathogens, including *Fusarium oxysporum*. Their results revealed that aqueous extracts of the plant significantly





suppressed fungal mycelial growth, achieving inhibition rates exceeding 80% at effective concentrations. This aligns with the present study, which also demonstrated strong inhibitory activity of *G. arborea* extracts against *Fusarium oxysporum*. Although different plant parts and extract types were used, both studies collectively reinforce the antifungal potential of *G. arborea* and validate its role as a natural source of bioactive compounds for managing fungal pathogens as reported by (Adedire et al., 2023).

The study indicates that *Gmelina arborea* leaf extracts possess strong antifungal activity against *Fusarium oxysporum*. This effect is likely due to the presence of phenolics and saponins, which interfere with fungal metabolism, inhibit spore germination, and weaken cell wall proteins. Similar antifungal effects were observed in *Azadirachta indica* (Ali et al., 2025), *Allium sativum* (Hari et al., 2025), *Glycyrrhiza glabra* (Redondo-Blanco et al., 2020), *Medicago sativa* all of which demonstrate that phytochemical content is central to inhibiting fungal growth, supporting the findings of Chen et al. (2025).

This study also indicates that *Gmelina arborea* leaf extracts demonstrate strong antifungal activity against *Fusarium oxysporum*, which is likely due to the synergistic action of flavonoids, phenols, tannins, and saponins, which work together to inhibit fungal growth. Previous studies support this finding, Shitu and Aliyu (2024) linking these metabolites in ethanolic leaf extracts to strong antimicrobial effects.

Conclusion

The study demonstrated that the methanolic leaf extract of *Gmelina arborea* possesses significant antifungal activity against *Fusarium oxysporum*. Phytochemical analysis revealed high levels of flavonoids (125.41 mg/g) and phenolics (124.98 mg/g), which likely contributed to the inhibitory effect.

The extract achieved the highest growth inhibition of 68.3% at 20 mg/mL, followed by 54.9% at 25 mg/mL, while the control recorded the lowest inhibition of 26.3%. Notably, the inhibition percentage did not consistently increase with concentration, as inhibition at 25 mg/mL was lower than at 20 mg/mL. This suggests that beyond a certain threshold, higher concentrations may not proportionally enhance antifungal activity, possibly due to saturation or antagonistic effects within the extract.

References

- Adedire, D. E., Owuoye, T. E., Farinu, O. M., Ogundipe, W. F., & Adedire, O. M. (2023). Management of Fusarium Wilt Disease of Maize (*Zea mays* L.) with Selected Antimycotic Plant Extracts and Inhibitory Bacillus Strains. *Current Microbiology*, 80(6), 204.
- Adedire, O. M., Oduwaye, O. F., & Fashola, O. O. (2021). Biocontrol of cassava root-rot mycopathogens with antimicrobial extracts of wood shavings. *Journal of Crop Improvement*, 35(5), 745-761.
- Admas, A. M., & Kebede, L. (2024). Effects of Fusarium Diseases on Forest Nursery and Its Controlling Mechanisms. In *Fusarium-Recent Studies*. IntechOpen.
- Agrios, G. N. (2005). *Plant pathology* (5th ed.). San Diego, CA: Elsevier Academic Press.
- Aigbe, S. O., Osemwegie, O. O., and Ikotun, T. (2017). Seedling diseases of vegetables in Nigeria: Distribution, incidence and management. *International Journal of Agricultural Research and Review*, 5(3), 275–282.
- Ajiboye, A. E., Sadiq, S. O., & Adedayo, M. R. (2020). Antimicrobial activity and phytochemical screening of *Adansonia digitata* stem bark extract on some clinical isolates. *Ife Journal of Science*, 22(2), 035-044.
- Alhakmani, F., Kumar, S., and Khan, S. A. (2013). Estimation of total phenolic content, in-vitro antioxidant and anti-inflammatory activity of flowers of *Moringa oleifera*. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 3(8), 623–627. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(13\)60126-4](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(13)60126-4)
- Ali, Z., Al-Qurashi, A. D., & Abo-Elyousr, K. A. (2025). Harnessing Plant Power: A Review of Green-Biosynthesized Silver Nanoparticles for Improving Orange Postharvest Quality and Green Mold Resistance. *Journal of King Abdulaziz University: Meteorology, Environment & Arid Land Agriculture Sciences*, 34(1).
- Aliyu, A., Ibrahim, H., and Musa, S. (2023). Phytochemical screening and antimicrobial activity of *Gmelina arborea* extracts. *African Journal of Biotechnology*, 22(2), 95–104. <https://doi.org/10.5897/AJB2022.17725>
- Anand, G., & Rajeshkumar, K. C. (2022). Challenges and threats posed by plant pathogenic fungi on agricultural productivity and economy. In *Fungal diversity, ecology and control management* (pp. 483-493). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Chen, X., Ren, T., Mei, D., Wei, X., Guo, Y., Li, Y., ... & Song, Q. (2025). Infection of various *Medicago sativa* varieties by *Ascochyta medicaginicola* triggers the synthesis of defensive secondary metabolites and their antifungal mechanisms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 73(11), 6711-6723.
- Delai, C., Muhae-Ud-Din, G., Abid, R., Tian, T., Liu, R., Xiong, Y., ... & Ghorbani, A. (2024). A comprehensive review of integrated management strategies for damping-off disease in chili. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1479957.
- Enin, G. N., Shaibu, S. E., Ujah, G. A., Ibu, R. O., & Inangha, P. G. (2021). Phytochemical and Nutritive Composition of *Uvariachamae* P. Beauv. Leaves, Stem Bark and Root Bark. *ChemSearch Journal*, 12(1), 9-14.
- Farooq, M., Ahmad, R., Shahzad, M., Sajjad, Y., Hassan, A., Shah, M. M., ... & Khan, S. A. (2021). Differential variations in total flavonoid content and antioxidant enzymes activities in pea under different salt and drought stresses. *Scientia Horticulturae*, 287, 110258.
- Gutierrez, S., Morán, A., Martínez-Blanco, H., Ferrero, M. A., & Rodríguez-Aparicio, L. B. (2017). The usefulness of non-toxic plant metabolites in the control of bacterial proliferation. *Probiotics and antimicrobial proteins*, 9(3), 323-333.





- Hari, A., Echchgadda, G., Benjelloun, M., Lahmamsi, H., Belabess, Z., Laasli, S. E., ... & Lahlali, R. (2025). Sustainable plant-based control strategies for late blight disease of potato. *CABI Reviews*, 20(1), 0001.
- Haruna, S. G., Yahuza, L., & Tijjani, I. (2024). Management of Fusarium wilt of tomato (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*) and related soil-borne diseases using eco-friendly methods: a review. *Asian J. Res. Crop Sci*, 9(1), 154-168.
- Kajal, A., & Singh, R. (2019). Coriandrum sativum seeds extract mitigate progression of diabetic nephropathy in experimental rats via AGEs inhibition. *PloS one*, 14(3), e0213147.
- Koleva, P., Tsanova-Savova, S., Paneva, S., Velikov, S., & Savova, Z. (2021). Polyphenols content of selected medical plants and food supplements present at Bulgarian market. *Pharmacia*, 68, 819-826.
- Lamichhane, J. R., Venturi, V., and Mendes, R. (2017). Future prospects of microbiome-mediated plant disease suppression. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1610. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01610>
- Malik, S. K. (2017). Qualitative and quantitative estimation of terpenoid contents in some important plants of Punjab, Pakistan. *Pakistan Journal of Science*, 69(2).
- Musa, A. (2022). Phytochemical composition and antifungal activity of *Gmelina arborea* leaf extracts. *Nigerian Journal of Plant Science*, 45(3), 56–64.
- Nielsen, S. S. (2024). Total carbohydrate by phenol-sulfuric acid method. In *Nielsen's Food Analysis Laboratory Manual* (pp. 147-151). Cham: Springer International Publishing.
- Nikolaeva, T. N., Lapshin, P. V., & Zagorskina, N. V. (2022). Method for determining the total content of phenolic compounds in plant extracts with Folin–Denis reagent and Folin–Ciocalteu reagent: Modification and comparison. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*, 48(7), 1519-1525.
- Nwachukwu, C. U., Onyema, V., and Umeh, C. N. (2022). Ethnobotanical and pharmacological importance of *Gmelina arborea* Roxb. *Journal of Medicinal Plants Studies*, 10(5), 122–128.
- Omotunde, O., Abiodun, O., Ojo, A., & Gurgur, E. (2025). Methanolic Bark Extract Of Bridelia Ferruginea: Phytochemicals, Antioxidant Potentials And Spectroscopic Characterization. *Fudma Journal Of Sciences*, 9(12), 376-384.
- Onyekachi, O. (2021). Proximate and Anti-Nutrient Composition of the Stem Bark of Ogirisi (*Newbouldia leavis*) Plant. *Asian Research Journal of Current Science*, 3(1), 51-63.
- Pagoch, K., Srivastava, J. N., & Singh, A. K. (2015). Damping-off disease of seedlings in Solanaceous vegetables: current status and disease management. In *Recent advances in the diagnosis and management of plant diseases* (pp. 35-46). New Delhi: Springer India.
- Pathak, R. (2023). Plant protection. In *Genetics, Physiology and Cultivation of Moth Bean, Cowpea and Horse Gram* (pp. 99-124). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Pourahadi, A., Farahani, A., Hosseiny Davarani, S. S., Nojavan, S., & Tashakori, C. (2019). Developing a miniaturized setup for in-tube simultaneous determination of three alkaloids using electromembrane extraction in combination with ultraviolet spectrophotometry. *Journal of separation science*, 42(19), 3126-3133.
- Redondo-Blanco, S., Fernandez, J., Lopez-Ibanez, S., Miguelez, E. M., Villar, C. J., & Lombo, F. (2020). Plant phytochemicals in food preservation: Antifungal bioactivity: A review. *Journal of food protection*, 83(1), 163-171.
- Sanogo, S., and Ji, P. (2021). Epidemiology and management of *Fusarium oxysporum* in vegetable crops. *Horticultural Plant Journal*, 7(6), 499–513. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2021.07.006>
- Seepe, H. A., Mofokeng, M. A., and Mphahlele, R. R. (2021). Phytochemical screening and biological activities of *Gmelina arborea* extracts. *South African Journal of Botany*, 137, 120–128. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.12.018>
- Shitu, S., & Aliyu, M. Y. (2024). Antibacterial activity and toxicity profile of ethanolic leave and stem bark extract of *Gmelina arborea* (Verbenaceae) on wistar albino rat. *International Journal of Health Research and Physical Study*.
- Singh, P., & Mijakovic, I. (2022). Antibacterial effect of silver nanoparticles is stronger if the production host and the targeted pathogen are closely related. *Biomedicines*, 10(3), 628.
- Singh, R., Yadav, P., and Gupta, V. (2020). Phytochemical screening of *Gmelina arborea* bark and its pharmacological potential. *Journal of Medicinal Plants Research*, 14(7), 295–301. <https://doi.org/10.5897/JMPR2020.7004>
- Yoon, M. Y., Cha, B., and Kim, J. C. (2022). Recent trends in plant disease management using biological control agents. *Plant Pathology Journal*, 38(1), 1–15. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.12.2021.0174>





Potential and Future Prospects for Using Certain Organic Acids in Sustainable Horticultural Crop Culture

Beyza Hafçı^{1*}, Fadimana Özel¹, Yaşar Ertürk¹

¹Kırşehir Ahi Evran University, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture, 40100, Kırşehir, Türkiye.

Abstract

In modern horticultural production, minimizing the use of chemical inputs to protect soil health is a cornerstone of sustainability. In this context, humic, fulvic, and low molecular weight organic acids (citric, malic, amino acids, etc.) are widely discussed in the literature as biostimulants that promote plant growth. Low molecular weight organic acids temporarily lower the pH in the root zone, facilitating the chelation and uptake of microelements such as phosphorus and iron bound in the soil. Amino acid and fulvic acid applications activate the plant's antioxidant defense system (enzyme activities such as SOD, POD, and CAT) against stress factors such as drought, salinity, and extreme temperatures. Scientific studies have proven that organic acids increase chlorophyll synthesis, optimize photosynthetic activity, and promote the accumulation of sugars and vitamin C in fruits. In the future, it is expected that organic acid applications will be integrated with "Precision Agriculture" technologies. In particular, it is foreseen that controlled release of organic acids to targeted tissues via nano-carriers using nanobiotechnology will be applications that increase effectiveness while reducing application doses. Furthermore; One of the biggest expectations for the near future is that "biological cocktails," combining microbial synergies in nature—plant growth-promoting bacteria (PGPR)—and organic acids will be the strongest candidates to replace chemical fertilizers. In addition, the development of specific organic acid formulations, acting as "plant vaccines" against the irreversible environmental stresses caused by the accelerating climate change the world has been experiencing in recent years, is considered critical for global food security. Organic acid applications are not only a means of increasing yield but also a sustainable management strategy that protects the ecosystem. Future research is expected to focus on the effects of acids on molecular-level signal transduction pathways. This article evaluates the effects of organic acids on plant physiology and their potential future applications.

Key Words: Sustainable Agriculture, Biostimulants, Organic Acids, Nutrient Availability, Plant Physiology.

Bazı Organik Asitlerin Sürdürülebilir Bahçe Bitkileri Kültüründe Kullanım İmkanları ve Gelecek Perspektifi

Özet

Modern bahçe bitkileri üretiminde, kimyasal girdi kullanımını minimize ederek toprak sağlığını korumak sürdürülebilirliğin temel taşıdır. Bu bağlamda, humik, fulvik ve düşük molekül ağırlıklı organik asitler (sitrik, malik, amino asitler vb.), bitki gelişimini teşvik eden biyostimülanlar olarak literatürde geniş yer bulmaktadır. Düşük molekül ağırlıklı organik asitler, kök bölgesindeki pH'ı geçici olarak düşürerek, toprakta bağlı bulunan fosfor ve demir gibi mikro elementlerin şelatlanmasını ve bitki tarafından alımını kolaylaştırır. Amino asitler ve fulvik asit uygulamaları; kuraklık, tuzluluk ve aşırı sıcaklık gibi stres faktörlerine karşı bitkinin antioksidan savunma sistemini (SOD, POD ve CAT gibi enzim aktiviteleri) aktive eder. Organik asitlerin klorofil sentezini artırdığı, fotosentetik aktiviteyi optimize ettiği ve meyvelerde şeker ile C vitamini birikimini teşvik ettiği bilimsel çalışmalarla kanıtlanmıştır. Gelecekte organik asit uygulamalarının "Hassas Tarım" teknolojileriyle entegre olması beklenmektedir. Özellikle; nanobiyoteknoloji ile organik asitlerin nano-taşıyıcılar aracılığıyla hedeflenen dokulara kontrollü salınımı, uygulama dozlarını düşürürken etkinliği artırıcı uygulamalar şeklinde olacağı öngörülmektedir. Ayrıca; doğadaki mikrobiyal sinerjinin bitki gelişimini teşvik eden bakteriler (PGPR) ve organik asitlerin kombine edildiği "biyolojik kokteyller" şeklinde, kimyasal gübrelerin yerini alacak en güçlü adaylar olması yakın geleceğin en büyük beklentilerinden biridir. Bunun yanında dünyanın son yıllarda maruz kaldığı ve giderek hızlanan iklim değişikliğinin İslah edilemeyen çevresel streslere karşı "bitki aşısı" niteliğinde spesifik organik asit formülasyonlarının geliştirilmesi, küresel gıda güvenliği için kritik öneme sahip olacağı da düşünülmektedir. Organik asit uygulamaları, sadece bir verim artış aracı değil, aynı zamanda ekosistemi koruyan sürdürülebilir bir yönetim stratejisidir. Gelecekteki araştırmaların, asitlerin moleküler düzeydeki sinyal iletim yolları üzerindeki etkilerine yoğunlaşması öngörülmektedir. Bu makale, organik asitlerin bitki fizyolojisi üzerindeki etkilerini ve gelecekteki kullanım potansiyellerini değerlendirmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir Tarım, Biyostimülanlar, Organik Asitler, Besin Elementi Yararışlılığı, Bitki Fizyolojisi.





Giriş

Sürdürülebilir bahçe bitkileri üretimi, artan küresel nüfus, iklim değişikliği ve doğal kaynakların sınırlılığı nedeniyle günümüzde tarımsal araştırmaların en önemli odak alanlarından biri haline gelmiştir. Geleneksel tarım uygulamalarının yoğun kimyasal gübre ve pestisit kullanımına dayalı olması; toprak sağlığının bozulması, biyolojik çeşitliliğin azalması ve çevresel kirlilik gibi ciddi sorunlara yol açmaktadır. Bu bağlamda, daha çevre dostu ve sürdürülebilir üretim sistemlerinin geliştirilmesi amacıyla organik ve biyostimülant temelli yaklaşımlar ön plana çıkmaktadır. Özellikle düşük molekül ağırlıklı organik asitler (DMAOA'lar), hem bitki fizyolojisi hem de toprak-bitki-mikroorganizma etkileşimleri açısından önemli fonksiyonel bileşikler olarak dikkat çekmektedir. Sitrik, malik, oksalik, laktik ve asetik asit gibi bileşikler kapsayan organik asitler, bitki kökleri tarafından rizosfere salgılanabilmekte veya dışarıdan uygulanabilmektedir. Bu bileşiklerin sürdürülebilir tarımda kullanım potansiyeli, özellikle besin elementlerinin mobilizasyonu, toprak mikrobiyal aktivitesinin artırılması ve bitki stres toleransının geliştirilmesi gibi mekanizmalar üzerinden açıklanmaktadır. Örneğin, düşük molekül ağırlıklı organik asitlerin fosfor gibi bitkiler için sınırlayıcı olan besin elementlerinin çözünürlüğünü artırarak bitki tarafından alınabilirliğini önemli ölçüde yükselttiği gösterilmiştir (Zhu vd., 2022). Benzer şekilde, organik asitlerin toprak mikrobiyal toplulukları üzerinde doğrudan etkili olduğu ve mikroorganizmalar için kolay kullanılabilir karbon kaynağı sağlayarak mikrobiyal aktiviteyi artırdığı rapor edilmiştir (Macias-Benitez vd., 2020). Bu durum, organik maddenin mineralizasyonunu hızlandırmakta ve bitki besin maddelerinin döngüsünü desteklemektedir. Ayrıca, organik asitlerin rizosfer

ortamında pH düzenleyici etkisi sayesinde besin elementlerinin çözünürlüğünü artırdığı ve böylece bitki büyümesini teşvik ettiği bilinmektedir.

Sürdürülebilir bahçe bitkileri üretiminde organik asitlerin bir diğer önemli rolü, abiyotik stres koşullarına karşı bitki direncini artırmalarıdır. Tuzluluk, kuraklık ve yüksek sıcaklık gibi stres faktörleri, bitkilerde verim ve kalite kayıplarına neden olmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, organik asitlerin bu stres koşulları altında bitkilerin fizyolojik ve biyokimyasal tepkilerini düzenleyerek dayanıklılığı artırdığını göstermektedir. Organik asit uygulamalarının, iyon dengesini düzenlediği, antioksidan savunma sistemlerini aktive ettiği ve bitkilerin stres koşullarında daha iyi performans göstermesine katkı sağladığı bildirilmiştir (Luo vd., 2026).

Bahçe bitkilerinde yapılan uygulamalı çalışmalar da organik asitlerin pratik kullanım potansiyelini ortaya koymaktadır (Ghazijahani vd., 2014; Ahmed, 2023). Bununla birlikte, organik asitlerin etkileri yalnızca bitki fizyolojisi ile sınırlı olmayıp, toprak özelliklerinin iyileştirilmesi açısından da büyük önem taşımaktadır. Organik asitlerin toprak yapısını iyileştirdiği, agregat stabilitesini artırdığı ve su tutma kapasitesini geliştirdiği bilinmektedir. Ayrıca, toprakta bulunan toksik elementlerle kompleks oluşturma (şelasyon) özellikleri sayesinde ağır metal stresini azaltarak bitki gelişimini dolaylı olarak desteklemektedir. Bu özellikler, özellikle bozulmuş ve tuzlulaşmış toprakların rehabilitasyonunda organik asitlerin önemli bir araç olarak kullanılabileceğini göstermektedir (Luo vd., 2026). Son yıllarda yapılan araştırmalar, organik asitlerin yalnızca bir besin maddesi veya metabolik ara ürün değil, aynı zamanda bitki büyümesini düzenleyen biyostimülantlar olarak da değerlendirilebileceğini ortaya koymuştur. Bu bağlamda, organik asitlerin sürdürülebilir bahçe bitkileri üretim sistemlerinde kullanımı; kimyasal girdilerin azaltılması, çevresel etkilerin minimize edilmesi ve ürün kalitesinin artırılması açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Ancak, farklı organik asit türlerinin etki mekanizmalarının tam olarak anlaşılması, optimum uygulama dozlarının belirlenmesi ve uzun vadeli etkilerinin değerlendirilmesi gibi konular hâlen araştırılmaya devam etmektedir.

Bu çalışma kapsamında, belirli organik asitlerin sürdürülebilir bahçe bitkileri üretimindeki kullanılabilirliği ve gelecekteki potansiyelleri kapsamlı bir şekilde ele alınarak, mevcut literatür ışığında değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

Organik Asitlerin Tanımı ve Sınıflandırılması

Toprak organik asitleri (OA'lar), rizosferde salınan organik moleküllerin suda çözünebilen kısımlarının önemli bir bölümünü oluşturur. Çoğu tarım toprağının normal bileşenleridir ve toprak besin maddelerinin kullanılabilirliği, ekolojisi ve verimliliğinde önemli roller oynarlar.

Genel olarak, organik asitler (OA'lar) zayıf asitlerdir ve suda tamamen çözünmezler. Toprak OA'ları genel olarak iki gruba ayrılabilir: yüksek molekül ağırlıklı OA'lar ve düşük molekül ağırlıklı OA'lar. Yüksek molekül ağırlıklı OA'lar, birkaç yüz ila bir milyon Dalton (DA) arasında değişen yüksek molekül ağırlıklarıyla karakterize edilir. Suda çözünmezler. Düşük molekül ağırlıklı OA'lar ise 46 DA ile birkaç yüz DA arasında değişen nispeten düşük molekül ağırlığına sahiptir. Yüksek molekül ağırlıklı OA'lara kıyasla daha fazla çözünürdürler (Perminova vd., 2003). Düşük molekül ağırlıklı organik asitler genellikle bir ila üç karboksil grubu içerirken, Yüksek molekül ağırlıklı OA'lar üçten fazla karboksil grubu içeren OA'lardır. Sitrik, oksalik, malik, süksinik, malonik ve maleik asitler, diğerlerinin yanı sıra, düşük molekül ağırlıklı organik asitlere örnek teşkil eder (Jiang vd., 2012), yüksek molekül ağırlıklı organik asitler ise hümitik asit ve fulvik asitleri içerir (Haynes & Mokolobate, 2001, Perminova vd., 2003).





Toprak ekolojik sistemindeki organik asitlerin çoğu bitki, mikrobiyal ve organik madde ayrışmasıyla ilişkilendirilmiştir (Jones vd., 2003, Mimmo vd., 2008, Nwoke vd., 2008). Bitkiyle ilişkili organik asitler genellikle kök salgılarından, yağmur suyuyla taşınmadan ve yaprak döküntülerinin yıkanmasından kaynaklanır (Dakora & Phillips, 2002). Mikroorganizmalar arasında bakteri, mantar ve liken türleri önemli miktarda toprak organik asidi üretir. Organik asitler toprak ortamındaki mikroorganizmalar tarafından biyotik ve abiyotik streslere karşı bir adaptasyon mekanizması olarak sentezlenebilir ve salgılanabilir (Morgan vd., 2005). Benzer şekilde, ayrılmış organik madde de toprak ortamını zenginleştiren yüksek konsantrasyonlarda organik asitlere katkıda bulunur (Lian vd., 2008, Aoki vd., 2012). Karbon döngüsü, organik asitlerin bitkilerin bileşenleri olan CO₂, su ve güneş ışığından üretildiği, daha sonra organik maddeye dönüştüğü ve sonrasında CO₂, su ve enerjiye geri döndüğü kapalı bir sistem olarak tanımlanmıştır (Fenton & Helyar, 1999). Bu döngünün bir kısmı, biyolojik türlerden (mikroplar, bitkiler ve hayvanlar) gelen organik asitler ile kaya arasındaki etkileşimi içerir. Bu, bitki büyümesi için kationların salınmasına neden olan ayrışma sürecinin ilk kısmıdır. Örneğin, glukonik asit, fosfat çözünürlüğünü indüklemeye yeteneğiyle sıklıkla rapor edilen bir metabolittir (Uroz vd., 2009).

Toprakta bulunan çok çeşitli organik asitler arasında, oksalik, sitrik, malik, asetik, formik ve tartarik asitler gibi düşük molekül ağırlıklı organik asitlerin toprak verimliliğinde önemli roller oynadığı belirlenmiştir. Organik asitlerin toprak biyolojik süreçlerindeki etkinliği, en az etkili olan trikarboksilik düşük molekül ağırlıklı organik asitlerden (sitrik ve tartarik asitler), en etkili olan dikarboksilik düşük molekül ağırlıklı organik asitlere (maleik ve fumarik asitler) ve en etkili olan monokarboksilik düşük molekül ağırlıklı organik asitlere (oksalik ve asetik asitler) doğru azalan bir sırayı takip eder (Andrade vd., 2013).

Çeşitli ekosistemlerde, toprak çözeltisindeki organik asitlerin (OA) konsantrasyonu, di/trikarboksilik asitler (oksalik, malonik, malik, süksinik, tartarik ve sitrik asit) için tipik olarak 0 ila 50 µM ve monokarboksilik asitler (formik, asetik, propiyonik, butirik, valerik ve laktik asit) için 0 ila 1 mM arasında değişmektedir. Bununla birlikte, bu konsantrasyonların toprak tipine ve diğer faktörlere bağlı olarak oldukça değişken olabileceği vurgulanmıştır (Strobel vd., 2005).

Düşük Molekül Ağırlıklı Organik Asitler

Düşük molekül ağırlıklı organik asitler, bitkilerin köklerinde, yapraklarında ve meyvelerinde yaygın olarak bulunur ve birincil lezzet ve besin bileşenleri olarak görev yapar. Atmosferdeki organik asitler ise çoğunlukla fotokimyasal reaksiyonlar, araç emisyonları ve kömür yanması sonucu oluşur (Huang vd., 2005). Sadece bitkilerde besin emilimi ve stomatal açılma gibi fizyolojik metabolik süreçlere katılmakla kalmaz, aynı zamanda çeşitli hücrel metabolik yollar için bağlantı görevi görerek bitki büyüme ve gelişimi üzerinde olumlu bir etki gösterirler (Ferne & Martinoia 2009). Toprak çözeltisinde organik asitlerin konsantrasyonu genellikle şu sırayı izler: propiyonat > sitrat > oksalat, ortalama toplam konsantrasyon $8.7 \pm 2.3 \mu\text{mol/L}$ 'dir. Sitrat ve oksalat konsantrasyonları genellikle 1–100 µmol/L aralığındadır (Westergaard & Hansen, 1998). Bu bileşikler özellikle rizosfer süreçlerinde önemli rol oynar (Jones, 1998; Lundström &, 2000).

- Fe ve fosfatın mobilizasyonu
- Al toksisitesine karşı koruma
- Mineral ayrışmasının hızlandırılması
- Fe ve Al taşınımı

Ayrıca podzolizasyon gibi uzun vadeli toprak oluşum süreçlerinde kritik rol oynarlar (van Hees vd., 2000). Minerallerle yüzey reaksiyonları sayesinde; metal taşınımı, kirlетici dönüşümü ve biyoyararlanım üzerinde etkili olurlar (Errecalde & Campbell, 2000). Ayrıca:

- Sitrik asit: Fosfor ve mikro elementlerin çözünürlüğünü artırır.
- Malik asit: Kök büyümesini teşvik eder ve stres toleransını artırır.
- Oksalik asit: Metal iyonlarının şelatlanmasında rol oynar.
- Laktik ve asetik asit: Mikrobiyal aktiviteyi düzenler.

Bu organik asitler, özellikle besin elementlerinin şelatlanması ve bitki tarafından alınabilir forma dönüştürülmesinde kritik rol oynamaktadır (Jones, 1998). Yüzey ekosisteminde karbon döngüsü ile kirlетici dinamikleri arasında köprü vazifesi gören bu organik asit türleri "aktif" moleküllerdir. Fotokimyasal üretimleri ve mikrobiyal mineralizasyonları arasındaki denge, su kütlelerinin ve toprakların ekolojik sağlığını belirler (Xiao & Wu 2014). Düşük molekül ağırlıklı organik asitler ağır metaller ve toksik organik bileşiklerin çevresel davranışını düzenler; bunu adsorpsiyon ve şelasyon/kompleksleşme mekanizmalarıyla gerçekleştirir (Gao vd., 2010). Biyosferde madde ve enerji taşıyıcıları olarak önemli rol oynayan bu bileşikler, mikroorganizmalar tarafından tüketilerek biyokütle artmasına katkı sağlar. Aynı zamanda organizmaların salgıları ve makromoleküler organik maddenin parçalanması sonucu yeniden ortama salınırlar (Kleerebezem vd., 1999).

Mikrobiyal Kaynaklı Organik Asitler

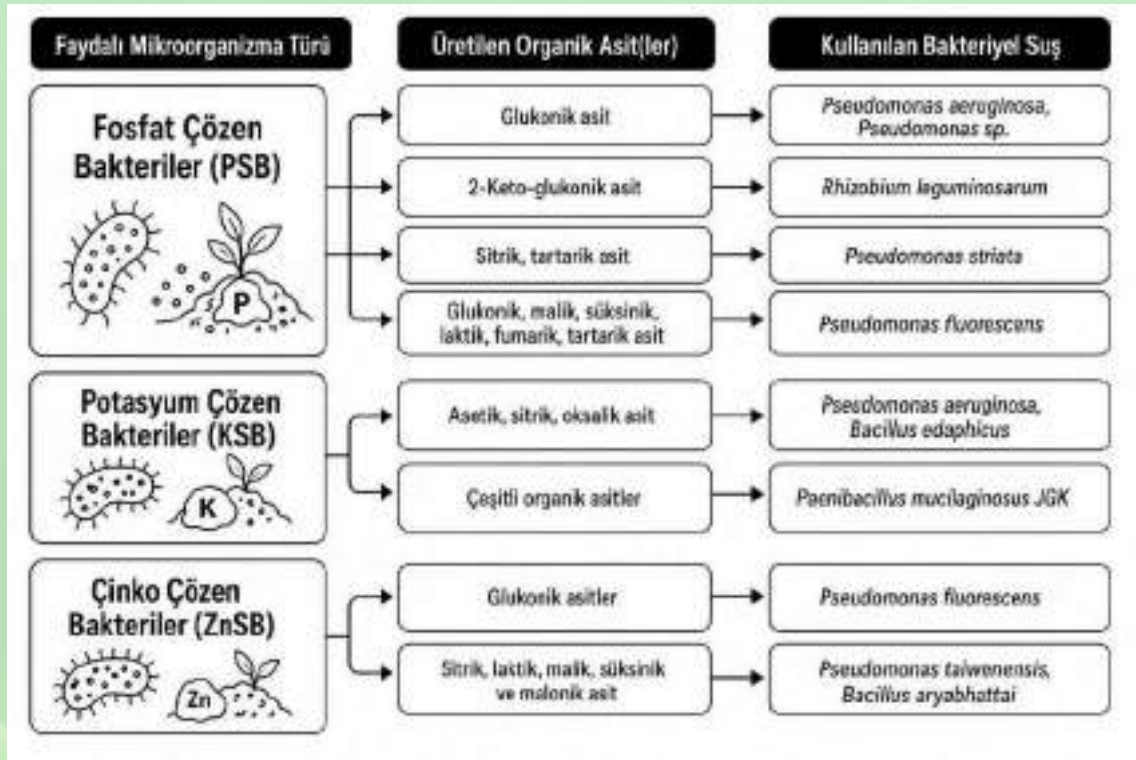
Organik asitler, karbon, hidrojen ve oksijen elementlerinin katılımına göre farklılık gösterir. Mikrobiyal aktivite ile üretilen başlıca organik asit türleri sitrik asit, süksinik asit, laktik asit, itakonik asit, laktobiyonik asit, glukonik asit, fumarik asit, propiyonik asit ve asetik asittir (şekil 1 ve şekil 1)





Tablo 1. Faydalı mikroorganizmalar tarafından üretilen organik asitler

Faydalı Mikroorganizma Türü	Üretilen Asit(ler)	Organik	Kullanılan Bakteriye Suş	Referanslar
Fosfat Çözen Bakteriler (PSB)	Glukonik asit		<i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Pseudomonas sp.</i>	van Schie vd. (1985); Illmer and Schinner (1992)
	2-Keto-glukonik asit		<i>Rhizobium leguminosarum</i>	Halder vd. (1991)
	Sitrik, tartarik asit		<i>Pseudomonas striata</i>	Gaur (1990)
	Glukonik, malik, süksinik, laktik, fumarik, tartarik asit		<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Henri vd. (2008)
Potasyum Çözen Bakteriler (KSB)	Asetik, sitrik, oksalik asit		<i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Bacillus edaphicus</i>	Badr vd. (2006); Sheng & He (2006)
	Çeşitli organik asitler		<i>Paenibacillus mucilaginosus</i> JGK	Chen vd. (2020)
Çinko Çözen Bakteriler (ZnSB)	Glukonik asitler		<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Simine vd. (1998)
	Sitrik, laktik, malik, süksinik ve malonik asit		<i>Pseudomonas taiwanensis</i> , <i>Bacillus aryabhattai</i>	Vidyashree vd. (2018)



Şekil 1. Faydalı mikroorganizmalar tarafından üretilen organik asitler

Toprak mikroorganizmaları tarafından üretilen organik asitler, rizosfer ekolojisinde önemli bir yere sahiptir. Özellikle fosfat çözücü bakteriler tarafından salgılanan organik asitler, çözünmeyen fosfor formlarını bitkiler için kullanılabilir hale getirmektedir (Rodríguez & Fraga, 1999). Ayrıca bu mikroorganizmalar, organik asit üretimi yoluyla toprak pH'sını düşürmekte ve besin elementlerinin mobilitesini artırmaktadır (Macias-Benitez vd., 2020). Bu durum, sürdürülebilir tarım uygulamalarında mikrobiyal gübrelerle birlikte organik asitlerin kullanımını daha da önemli hale getirmektedir.

Organik Asitlerin Toprak Özellikleri Üzerine Etkileri

Organik asitler, toprak ekosisteminde fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçleri etkileyerek bitki gelişimi açısından kritik rol oynamaktadır. Özellikle rizosfer bölgesinde salgılanan düşük molekül ağırlıklı organik asitler, besin elementlerinin mobilizasyonu, toprak pH düzenlenmesi ve mikrobiyal aktivitenin artırılması gibi mekanizmalarla toprak verimliliğini doğrudan etkilemektedir (Jones, 1998).





Organik Asitlerin Toprak Özellikleri Üzerine Etkileri

Organik asitler, toprak ekosisteminde fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçleri etkileyerek bitki gelişimi açısından kritik rol oynamaktadır. Özellikle rizosfer bölgesinde salgılanan düşük molekül ağırlıklı organik asitler, besin elementlerinin mobilizasyonu, toprak pH düzenlenmesi ve mikrobiyal aktivitenin artırılması gibi mekanizmalarla toprak verimliliğini doğrudan etkilemektedir (Jones, 1998).

Organik Asitlerin Toprak Kimyası Üzerine Etkileri

Organik asitler, toprak kimyasını etkileyen en önemli biyokimyasal bileşik gruplarından biri olup, özellikle besin elementlerinin çözünürlüğü ve hareketliliği üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Düşük molekül ağırlıklı organik asitler (sitrik, malik, oksalik, laktik ve asetik asit gibi), toprak çözeltisinde metal iyonları ile kompleks oluşturarak besin elementlerinin bitkiler tarafından alınabilirliğini artırmaktadır (Jones vd., 2003; Richardson vd., 2009; Dakora & Phillips, 2002). Bu bağlamda organik asitlerin en önemli etkilerinden biri şelatlama mekanizmasıdır. Organik asitler, Fe^{3+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} ve Cu^{2+} gibi mikro elementlerle kompleks oluşturarak bu elementlerin çözünür formda kalmasını sağlar (Marschner, 2012). Özellikle kireçli ve alkali topraklarda demirin çözünürlüğü ciddi şekilde sınırlı olduğundan, organik asitlerin varlığı bitki beslenmesi açısından kritik hale gelmektedir (Hinsinger, 2001). Bunun yanı sıra organik asitler, fosforun mobilizasyonunda önemli rol oynamaktadır. Fosfor, çoğu toprakta kalsiyum, demir ve alüminyum bileşikleriyle bağlanmış durumda bulunur ve bitkiler tarafından doğrudan alınmaz. Organik asitler bu bağları kırarak fosforun çözünür hale geçmesini sağlar. Özellikle sitrik ve oksalik asidin fosfor çözünürlüğünü artırmada etkili olduğu birçok çalışmada ortaya konmuştur (Ryan vd., 2001; Gerke, 2015).

Çalışma sonuçlarında ve yayınlarda organik asitlerin toprak kimyası üzerindeki etkileri genel olarak olumlu değerlendirilmekte birlikte, bu etkilerin; toprak tipi, pH, organik madde içeriği, mikrobiyal aktivite gibi faktörlere bağlı olarak önemli ölçüde değiştiği görülmektedir. Bu durum, farklı çalışmalar arasında elde edilen sonuçların neden tam olarak örtüşmediğini açıklamaktadır.

Organik Asitlerin Bitki Beslenmesi Üzerine Etkileri

Organik asitler, bitki beslenmesi üzerinde hem doğrudan hem de dolaylı etkiler gösteren önemli bileşiklerdir. Bu etkiler, besin elementlerinin çözünürlüğünü artırmaları, kök morfolojisini değiştirmeleri ve hücresel düzeyde metabolik süreçleri düzenlemeleri ile ilişkilidir (Jones, 1998; Dakora & Phillips, 2002; Marschner, 2012). Organik asitlerin bitki beslenmesine katkısının temelinde, besin elementlerinin biyoyararlanımını artırma yetenekleri bulunmaktadır.

Toprak Mikrobiyal Aktivitesi Üzerine Etkileri

Mikroorganizmalar; organik madde ayrışması, besin elementlerinin mineralizasyonu ve biyokimyasal döngülerin sürdürülmesinde kritik rol oynar. Organik asitler, özellikle rizosfer ortamında mikroorganizmalar tarafından üretilen veya bitki kökleri tarafından salgılanan düşük molekül ağırlıklı bileşikler olarak, mikrobiyal aktiviteyi doğrudan ve dolaylı yollarla etkileyen önemli düzenleyicilerdir (Jones, 1998; Macias-Benitez vd., 2020; Dakora & Phillips, 2002). Organik asitlerin mikrobiyal aktivite üzerindeki en önemli etkilerinden biri, mikroorganizmalar için kolay erişilebilir karbon kaynağı sağlamalarıdır. Sitrik, malik ve oksalik asit gibi düşük molekül ağırlıklı organik asitler, mikroorganizmalar tarafından hızlı bir şekilde metabolize edilerek enerji üretiminde kullanılır. Bu durum, mikrobiyal biyokütlede artışa ve solunum hızının yükselmesine neden olur.

Toprak Organik Maddesi ve Yapısal Özellikler Üzerine Etkileri

Toprak organik maddesi, toprak verimliliği, su tutma kapasitesi, agregat stabilitesi ve mikrobiyal aktivitenin temel belirleyicilerinden biridir. Organik asitler, hem bitki kök eksudatları hem de mikrobiyal metabolizma sonucu oluşarak toprak organik maddesinin dönüşümü ve stabilizasyonunda önemli rol oynar (Kalbitz vd., 2000; Lehmann & Kleber, 2015). Düşük molekül ağırlıklı organik asitler, organik maddenin çözünürlüğünü artırarak çözünür organik karbon fraksiyonunu yükseltir. Bu durum, mikrobiyal aktiviteyi teşvik ederek organik maddenin mineralizasyonunu hızlandırır. Ancak bu süreç, kısa vadede karbon kaybına neden olabilirken, uzun vadede mikrobiyal dönüşüm yoluyla daha stabil organik bileşiklerin oluşumuna katkı sağlayabilir (Kuzuyakov, 2010) (şekil 2).

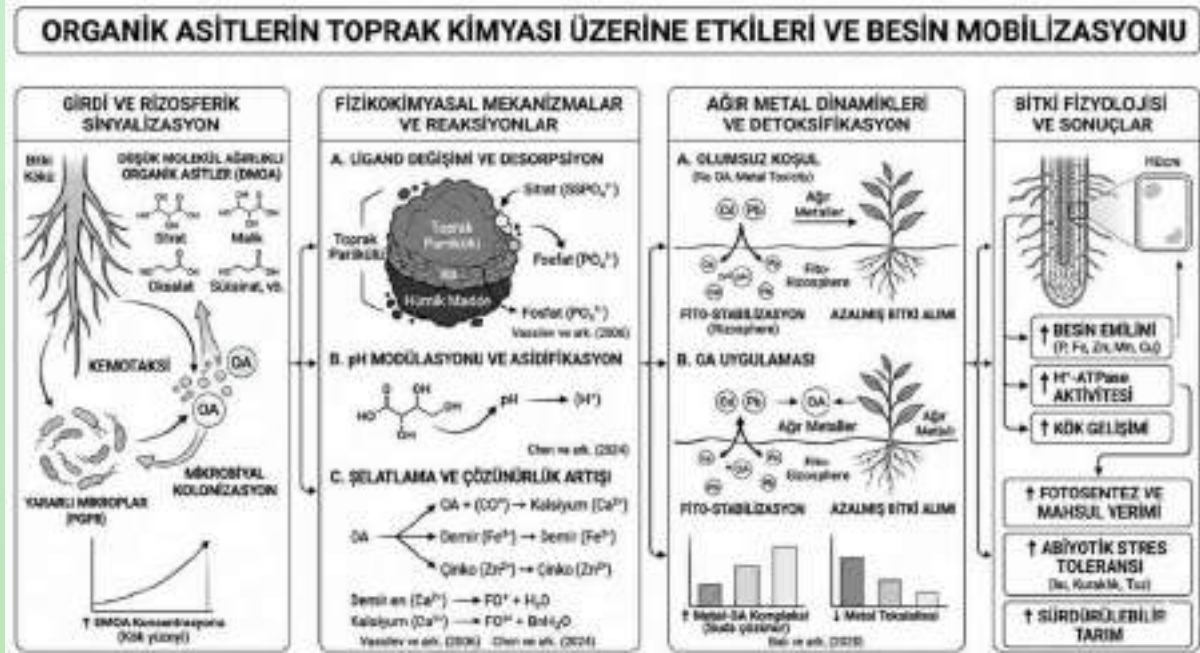
Bitki Fizyolojisi Üzerindeki Etkileri

Kök Gelişimi ve Rizosfer Etkileşimleri

Sürdürülebilir bahçe bitkileri yetiştiriciliğinde, bitki kök sistemi ile onu çevreleyen toprak matrisi arasındaki dinamik arayüz olan rizosfer, tarımsal verimliliğin temel belirleyicisidir (Oburger & Schmidt, 2016; Kuzuyakov & Razavi, 2019). Bu mikro-çevredeki biyokimyasal etkileşimler büyük ölçüde bitkiler ve mikroorganizmalar tarafından salgılanan düşük molekül ağırlıklı organik asitler (DMOA) ile topraktaki hümfikasyon süreçlerinden türeyen yüksek molekül ağırlıklı organik asitler (YMOA) tarafından şekillendirilir (Bais vd., 2006; Nardi vd., 2021). Organik asitlerin kök gelişimi üzerindeki en dramatik etkilerinden biri, kök mimarisinin plastisitesini



artırmalarıdır. Yapılan çalışmalar, hümit ve fülvik asitlerin plazmalemma ve tonoplastta bulunan H⁺-ATPaz enzim pompalarını aktive ederek hücre zarı hiperpolarizasyonuna yol açtığını ve "asit büyüme teorisi" (acid growth theory) bağlamında hücre duvarı esnekliğini artırdığını kanıtlamıştır (Zandonadi vd. 2007; Zandonadi vd., 2010). Bu süreç, özellikle yanıl kök (lateral root) ve kök emici tüy (root hair) oluşumunu teşvik ederek bitkinin toprakla olan temas yüzeyini geometrik olarak genişletir (Conselvan vd., 2017; Jindo vd., 2012).



Şekil 2. Organik asitlerin toprak kimyası üzerine etkileri (izosfer dinamiklerinde organik asitlerin (OA) merkezi rolünü 'girdi-mekanizma-sonuç' ekseninde özetlemektedir. OA'lar bir yandan toprak kimyasını (pH düşüşü ve ligand değişimi) modüle ederek besin biyoyararlanımını optimize ederken, diğer yandan abiyotik stres (tuzluluk, kuraklık) altında bitki dayanıklılığını artırır. Bu çok fonksiyonlu mekanizma, kimyasal gübre bağımlılığını azaltan sürdürülebilir tarım modelleri için temel bir biyokimyasal stratejidir.

Besin Alımı ve Taşınımı

Organik asitlerin bahçe bitkilerinde besin elementi alımı ve vasküler dokulardaki taşınımı üzerindeki etkileri, sürdürülebilir bitki beslemenin omurgasını oluşturur (Rouphael & Colla, 2020). Fosfor (P), toprakta genellikle kalsiyum, demir veya alüminyum ile kompleksler oluşturarak çözünmez formlarda fiske olur ve bitkiler tarafından doğrudan alınmaz (Shen vd., 2011). Ancak, bitkiler fosfor eksikliği algıladıklarında kök apikal meristemlerinden ve küme köklerinden (cluster roots) yüksek miktarda sitrat, malat ve oksalat salgırlar (Neumann & Römheld, 1999; Lambers & Pieter., 2003). Bu DMOA'lar, anyon değişim (ligand exchange) mekanizması aracılığıyla mineral yüzeylerindeki fosfat iyonlarının yerini alarak inorganik fosforu toprak çözeltisine serbest bırakır ve biyoyararlılığını (bioavailability) maksimize eder (Hinsinger, 2001; Vance vd., 2003; Richardson vd., 2009;).

Fotosentez ve Metabolik Süreçler

Fotosentetik kapasite ve karbon (C) metabolizması, bitkisel üretimin nihai verimini tayin eden en kritik fizyolojik parametrelerdir. Organik asitlerin foliar (yapraktan) veya topraktan uygulanması, fotosentetik aygıtın etkinliğini yapısal ve biyokimyasal düzeyde önemli ölçüde modifiye eder (Berbara & García, 2014). Hümit ve fülvik asitler, kloroplastlarda klorofil a ve b biyosentezi için elzem olan demir ve magnezyum alımını artırmanın yanı sıra, porfirin halkası sentezinden sorumlu enzimlerin spesifik aktivitelerini uyarır (Nardi vd., 2002; Chen vd., 2004).

Hüresel solunum ve temel metabolik yollar (Trikarboksilik Asit - TCA döngüsü) açısından DMOA'lar, sadece birer uyarıcı değil, doğrudan metabolik ara ürünler olarak işlev görürler (Juszczuk & Rychter, 2003). Sitrik, malik ve süksinik asit gibi karboksilatlar, bitki dokularında karbon depolama, enerji (ATP) üretimi ve hüresel pH regülasyonu süreçlerinde merkezi bir görev üstlenir.

Büyüme Düzenleyici Etkiler

Fitohormonal dengenin modülasyonu sadece büyümeyi değil, bitkinin savunma mekanizmalarını da yönetir. Örneğin, abiyotik stres koşullarında (ağır metal toksisitesi, pH dalgalanmaları), bitkilerin kendi iç mekanizmalarıyla DMOA (özellikle oksalik ve sitrik asit) üretimi tetiklenir ve bu asitler toksik iyonların (örneğin Al³⁺) vakuollerde sekestre edilmesinde (hüresel izolasyon) görev alarak bitki büyümesini korur (Kochian vd., 2004).





Stres Koşullarında Organik Asitlerin Rolü

Bitkiler çeşitli ve karmaşık etkileşimlerle karşı karşıyadır. (Ghadirnezhad Shiade vd. 2023 a,b) Çok sayıda çevresel faktörü içeren biyotik ve abiyotik strese maruz kaldıklarında, bitkiler metabolik süreçlerinde bozulmalar yaşarlar, bu da genel büyümede azalmaya ve verimlilikte düşüşe yol açar (González Guzmán vd. 2022; Ghadirnezhad Shiade vd. 2023c). Abiyotik stres, bitki büyümesini önemli ölçüde etkiler ve tarımsal ürünlerde önemli kayıplara neden olmada temel bir rol oynar. Gözlemlenen büyüme kaybı, bitki türlerinin büyük çoğunluğu için %50'yi aşabilmektedir (Rejeb vd., 2014). Ayrıca, biyotik stres, bitkiler üzerinde güçlü bir baskı uyguladığı ve patojenlerin saldırılarından kaynaklanan hasarı şiddetlendirdiği için ek bir zorluk oluşturur. Organik asitler bu streslere karşı bir kalkan görevi görür.

Abiyotik Stresler

Kuraklık, toprak tuzluluğu, aşırı sıcaklık değişimleri (sıcak ve soğuk), ağır metal toksisitesi ile pestisit kalıntıları gibi çeşitli abiyotik stres faktörleri, bitkilerin fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler mekanizmalarını etkileyerek tarımsal üretimde ciddi verim düşüşlerine sebep olmaktadır (Sindhu vd. 2020).

Çeltik bitkilerinin, özellikle yüksek şiddetteki tuz stresinin zararlı etkilerini hafifletmek amacıyla artan miktarlarda prolin, CAT ve SOD sentezlediği görülmüştür (Ghadirnezhad vd., 2020; Ghadirnezhad Shiade vd. 2023b). Bununla birlikte farklı bir araştırmada, ışık stresine maruz bırakılan buğday bitkilerinde tepki olarak bitki boyunun uzadığı, gövde kalınlığının azaldığı, başakçıkların uzadığı ve fotosentetik aktif radyasyonun (PAR) düştüğü ortaya konmuştur (Abdolmaleki vd., 2022).

Uzun süren kuraklık stresine karşı verilen tepkilerde, diğer organik asitlere kıyasla en belirgin artışı gösteren bileşiklerin süksinik asit, malik asit ve galakturonik asit olduğu düşünülmektedir. Gao ve arkadaşları (2012), uzun süreli kuraklığa maruz kalan bitkilerdeki malik asit miktarının düzenli sulananlara göre iki katına çıktığını belirtmiştir. Ayrıca malik asit benzeri LMWOA'lar (Düşük Molekül Ağırlıklı Organik Asitler), tuz stresi durumunda sodyum (Na⁺) alımını köklerde kısıtlayıp ozmotik denge kurarak biber gibi hassas türlerde verim düşüşüne engel olmaktadır. Patates genotiplerinde görülen galakturonik asit redüktaz aşırı ekspresyonunun ise askorbik asit seviyesini yükselterek bitkinin su stresine karşı toleransını geliştirdiği bilinmektedir (Conclin, 2001). Öte yandan, uzun süreli su stresi koşullarında incelenen organik asit yıkımlarında; kontrol grubuna göre metilmalonik asidin %36, sitrik asidin %49, gliserik asidin %55 ve izositrik asidin ise %49 oranında azaldığı belirlenmiştir. Benzer şekilde Sassi vd., (2010), stres altındaki hassas fasulye (*Phaseolus vulgaris*) genotiplerine ait yapraklarda organik asit düzeylerinin düştüğünü rapor etmiştir.

Ağır Metal Stresi

Toprak ekosistemlerinde ağır metallerin (Cd, Pb, Cu, Zn, Cr) etkinliği, katı faz ile sıvı faz arasındaki dinamik dengeye bağlıdır ve bu dengeyi belirleyen en kritik parametrelerden biri düşük moleküler ağırlıklı organik asitlerin (DMAOA) varlığıdır. Bitki kök eksüdatları ve mikrobiyal faaliyetler sonucunda ortama salınan sitrik, oksalik, malik ve tartarik asit gibi bileşikler, içerdikleri çoklu karboksil ve hidroksil grupları sayesinde metal iyonlarıyla yüksek afiniteli şelat kompleksleri oluşturma yeteneğine sahiptir (Qin vd., 2004). Bu organik asitlerin metal mobilitesi üzerindeki etkisi temel olarak üç mekanizma üzerinden şekillenir: asidifikasyon, ligand değişimine dayalı desorpsiyon ve mineral matrislerinin çözünmesi. DMAOA'lar, proton bırakarak toprak pH'ını düşürmekte ve bu sayede pH bağımlı yük taşıyan toprak kolloidlerine bağlı metallerin serbest kalmasına yol açmaktadır. Özellikle yapılan son çalışmalar, oksalik asidin demir ve alüminyum oksitlerin indirgeyici çözünmesini tetikleyerek, bu minerallerin kristal kafeslerinde hapsolmuş toksik metalleri mobil hale getirdiğini kanıtlamıştır. Bu süreç, ağır metallerin toprak profilinde dikey hareketini hızlandırarak yeraltı sularına karışma riskini artırmakta, ancak aynı zamanda fitoremediasyon uygulamalarında kirleticinin bitki tarafından alınabilirliğini optimize etmektedir (Maciaszczyk vd., 2020) (şekil 3.)

Organik Asit Uygulamalarının Bahçe Bitkilerinde Kullanımı ve Sonuçları

Bahçe bitkileri türlerinin yetiştiriciliğinde gerek konvansiyonel gerekse organik ve sürdürülebilir tarım alternatifi olarak kullanım imkanları açısından yapılan bilimsel çalışmalarda birçok morfolojik, anatomik ve fizyolojik sonuç rapor edilmiştir. Bu sonuçlara ilişkin özet tablo tablo da verilmiştir. Tablo 2. den de görüleceği üzerine organik asitler (sitrik, malik, oksalik, askorbik asitler ve sinyal molekülü olarak salisilik asit), bahçe bitkilerinde büyüme, gelişme ve stres toleransı üzerinde çok yönlü etkilere sahiptir.

Organik Asitlerin Sürdürülebilir Tarım Açısından Değerlendirilmesi

Sürdürülebilir tarım, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını tehlikeye atmadan bugünün gıda talebini karşılama ilkesine dayanır. Bu bağlamda organik asitler (fülvik, hümkik, amino asitler ve düşük molekül ağırlıklı organik asitler), kimyasal girdi bağımlılığını azaltan, toprak sağlığını koruyan ve ekosistem döngülerini destekleyen kritik biyostimülantlar olarak kabul edilmektedir (Rouphael & Colla, 2020).





Şekil 3. Organik asitlerin ağır metal mobilitesi ve toksite üzerine etkileri ((Asidifikasyon: Proton salınımı ile pH düşer ve kolloidlere bağlı metaller serbest kalır. Ligand Değişimi: Organik asitler (OA-), metallerle kararlı kompleksler oluşturarak onları yüzeyden koparır. Mineral Çözünmesi: Demir ve Alüminyum oksit kristallerinin yapısını bozarak içine hapsolmuş toksik metalleri (As, Ni vb.) açığa çıkarır).

Tablo 2. Organik Asitlerin Bahçe Bitkilerinde Kullanım Alanları ve Etkileri

Uygulama Yapılan Bitki Türü	Uygulanan Organik Asitler ve Dozları	Morfolojik, Anatomik ve Fizyolojik Etkileri	Literatür (Çalışmayı Yapanlar ve Yıl)
Domates (<i>Solanum lycopersicum</i>)	Sitrik, Malik ve Süksinik Asit (Rizosferik biyostimülant spray)	Düşük molekül ağırlıklı bu organik asitlerin (LMWOA) rizosfer mikroflorası için bir karbon kaynağı ve kemotaktik sinyal olarak işlev görmesi; patojeni baskılayan faydalı bakterilerin kolonizasyonunun artması. Fito-hormonal dengenin (özellikle IAA sentezinin) mikrobiyal sekresyonlar yoluyla iyileştirilmesi sonucu kök mimarisinin derinleşmesi.	Macias-Benitez vd., 2020
Çilek (<i>Fragaria × ananassa</i>)	Salisilik Asit (Foliar spray, 0.5 – 1.0 mM)	Tuz stresine (NaCl) bağlı reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikimini baskılayan antioksidan enzim (SOD, CAT, POX) aktivitelerinin artırılması; yaprak hücrel membran lipid peroksidasyonunun sızıntıyı önleyecek şekilde stabilize edilmesi. Nekrotik yaprak lezyonlarının engellenmesi; stres altında dahi klorofil a/b içeriğinin korunarak bitki boyu ve taç gelişiminin sürdürülmesi.	Karlıdag vd., 2009
Nar	Salisilik asit (2 mM, hasat öncesi)	Meyve kalitesi, raf ömrü ve antioksidan kapasite artışı	Sayyari vd., 2009
Tatlı Biber (<i>Capsicum annum</i>)	Salisilik Asit (SA) (1-10 mmol spray, 100-1000 ppm kök uygulaması)	Yüksek elektriksel iletkenlik (EC/Tuzluluk) stresine karşı klorofil floresansında (PSII canlılığı) maksimum ışık adaptasyonunun sağlanması; SPAD indeksinde artış; kalsiyum eksikliğine bağlı hücre içi sinyal bozulmalarının onarılması. Biber meyvelerinde apikal çiçek burnu çürüklüğü (blossom-end rot) oranında dramatik azalma; aeroponik sistemde kök/gövde oranının dengelenmesi.	Sobczak,2023
Şaraplık/Sofralık Üzüm (<i>Vitis vinifera</i>)	Malik Asit (%5 ve %10'luk konsantrasyonlar)	Rizosferdeki Topluluk Düzeyi Fizyolojik Profilin (CLPP) değiştirilmesi; Bacillaceae ve Woeseiaceae gibi P ve K çözücü mikroorganizma popülasyonlarının teşvik edilmesi; meyvedeki potasyum ve C vitamini içeriğinin moleküler düzeyde artışı. Üzüm salkımlarında şeker/asit rasyosunun lezzet puanını artıracak yönde evrilmesi; yapraklarda N ve P birikiminin hücrel düzeyde optimize edilmesi.	Si vd 2022
İtalyan Marulu (<i>Lactuca sativa</i>)	Sitrik Asit Tabanlı Karbon Noktaları (Mg, N-CDs nano formasyonu)	Karbon nanonoktalarının yüksek penetrasyon yeteneği sayesinde kloroplastlara doğrudan girerek PAM klorofil floresansını maksimize etmesi; RuBisCO enzim etkinliğini destekleyerek fotosentetik elektron taşınımını hızlandırması. Kontrol grubuna kıyasla marul taze ağırlığında %39.5'e varan devasa artış; yaprak ayasında (lamina) morfolojik kalınlaşma ve renk kalitesinin artması.	Huang vd., 2022
Çilek (<i>Fragaria × ananassa</i> cv. Winter Dawn)	Salisilik Asit ve Hekzanal (Hasat sonrası / Postharvest düşük sıcaklık muamelesi)	Meyve yumuşamasına neden olan pektin metilesteraz (PME) ve poligalakturonaz (PG) gibi hücre duvarı bozucu enzimlerin down-regülasyonu (baskılanması); solunum hızının yavaşlatılması ile biyokimyasal kalitenin oksidatif bozulmadan korunması. Fizyolojik ağırlık kaybının sadece %7.52 ile sınırlandırılması; çürüme insidansının düşmesi (meyve sağlamlığının 3.96 kg/cm ² 'de tutulması) ve raf ömrünün uzaması.	Sah vd., 2026
Gül (Rosa)	Sitrik Asit (150-200 mg/L)	İletim demetlerindeki (ksilem) bakteriyel tıkanmanın önlenmesi. Fizyolojik: Vazo ömrünün %40 uzaması.	Kazemi vd. 2012
Gül (Rosa)	Salisilik asit (1,5 mM)	1,5 mM konsantrasyonda hasat öncesi SA uygulaması, membran stabilitesini iyileştirerek ve lipid peroksidasyon özelliklerini azaltarak kesme güllerin vazo ömrünü uzattı.	Kazemi vd. 2018





Çevresel Etkiler: Toprak Sağlığı ve Yeraltı Sularının Korunması

Organik asitlerin en önemli çevresel katkısı, toprak ekosistemindeki besin elementlerinin mobilitesini ve biyoyararlanımını düzenleyerek çevresel kirliliği minimize etmesidir. Konvansiyonel tarımda aşırı azotlu ve fosforlu gübre kullanımı, bu elementlerin yeraltı sularına sızmasına (leaching) ve su kaynaklarında ötrofikasyona neden olmaktadır. Organik asitler, özellikle fosforun toprakta kalsiyum, demir veya alüminyum ile sabitlenmesini (fiksasyon) engelleyen güçlü şelatlayıcı ajanlardır.

Ekonomik Sürdürülebilirlik: Girdi Maliyetleri ve Verimlilik Dengesi

Ekonomik açıdan organik asit kullanımı, "Gübre Kullanım Etkinliği" (NUE-Nutrient Use Efficiency) kavramı üzerinden değerlendirilir. Birim alandan alınan verimi artırırken, kullanılan birim gübre miktarını düşürmek tarımsal işletmelerin kârlılığını belirleyen en temel unsurdur. Araştırmalar, organik asit takviyeli gübreleme programlarının, bitkisel üretimde verimi %15 ile %35 arasında artırdığını göstermektedir (Colla vd., 2015).

Organik Tarım ile Uyumluluk ve Biyolojik Çeşitlilik

Organik asitler, doğada bulunan bitkisel atıkların, linyit kömürünün (leonardit) veya hayvansal yan ürünlerin doğal ayrışma süreçlerinden elde edildikleri için organik tarım yönetmelikleriyle (EC 2018/848 ve USDA-NOP) tam uyumluluk gösterirler. Sentetik kimyasalların yasak olduğu organik üretim sistemlerinde, toprağın biyolojik aktivitesini sürdürmek için organik asitler vazgeçilmez bir araçtır. Bu asitler, rizosferde (kök bölgesi) yaşayan faydalı mikroorganizmalar (bakteri ve mantarlar) için temel bir besin kaynağı (karbon substratı) sağlar.

Karbon Ayak İzi ve Ekolojik Katkılar

Ekolojik ayak izi açısından bakıldığında, organik asit kullanımı sayesinde sentetik azotlu gübre üretim ihtiyacının azalması, küresel ısınmaya neden olan sera gazı emisyonlarını (özellikle nitröz oksit - N_2O) düşürür. Azotlu gübrelerin üretimi yüksek enerji gerektiren (Haber-Bosch süreci) ve yüksek karbon salınımına neden olan bir endüstridir. Organik asitler aracılığıyla sağlanan azot kullanım verimliliği, bu endüstriyel süreçlerin yükünü hafifleterek tarımın toplam karbon ayak izini %10-20 oranında azaltma potansiyeline sahiptir (Lassaletta vd., 2014). Sonuç olarak organik asitler, agroekolojik dönüşümün hem bilimsel hem de pratik temel taşlarından birini oluşturmaktadır.

Sonuç ve Öneriler

Organik asitler (amino asitler, fülvik asitler, humik asitler ve diğer alifatik asitler), günümüz tarımında kimyasal girdi bağımlılığını azaltan ve bitki-toprak ekosistemini onaran en güçlü biyostimülant gruplarından biridir. İklim değişikliğinin neden olduğu kuraklık, tuzluluk ve ekstrem sıcaklık gibi abiyotik stres faktörleri göz önüne alındığında, bu biyoaktif moleküllerin kullanımı artık bir "alternatif" değil, sürdürülebilir tarım için bir "zorunluluk" haline gelmiştir. Düşük molekül ağırlıklı organik asitler bitkide acil stres yönetimi ve hücrel sinyalizasyon sağlarken, yüksek molekül ağırlıklı polimerler toprağın fizikokimyasal ve mikrobiyolojik altyapısını uzun vadede iyileştirmektedir. Kısacası organik asitler, agronomik verimlilik ile ekolojik koruma arasındaki köprüyü kuran temel yapıtaşlarıdır. Bunun yanında uygulamalarda; fenolojik hassasiyeti oldukça dikkat edilmelidir. Nitekim, biyostimülantlar mucizevi ilaçlar değildir; doğru zamanda uygulandıklarında etkilidirler. Organik asit uygulamaları tohum kaplama (priming), fide şaşırtma, çiçeklenme öncesi ve meyve tutumu gibi bitkinin enerjiye en çok ihtiyaç duyduğu kritik fenolojik evrelerle senkronize edilmelidir. Bunun yanında; sinerjik kullanım açısından, organik asitler sentetik gübrelerin tam ikamesi (yerine geçen) olarak düşünülmemelidir. Bunun yerine, NPK gübreleri veya mikro elementler (Zn, Fe, Ca) ile birlikte (şelatlayıcı ajan olarak) kullanılarak, bitkinin "Gübre Kullanım Etkinliği" (GKE) maksimize edilmeli ve kimyasal gübre dozajları %20-30 oranında kademeli olarak düşürülebilir. Piyasada standardize edilmemiş çok sayıda ticari ürün bulunmaktadır. Uygulayıcılar, serbest amino asit (L-formunda) içeriği, organik karbon oranı ve şelasyon kapasitesi laboratuvar analizleriyle kanıtlanmış, güvenilir ürünleri tercih etmelidir.

Kaynaklar

- Ahmed, A. (2023). Foliar applications of ascorbic and citric acids with soil application of humic acid to improve growth, yield, and fruit quality of grape. *Al-Azhar Journal of Agricultural Research*, 48(2), 129-139. doi: 10.21608/ajar.2023.215513.1165
- Abdolmaleki, A. K., Pirdashti, H., Yaghoobian, Y., vd. (2022). Endophytic fungi improve growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under limited light conditions. *Gesunde Pflanzen*. <https://doi.org/10.1007/s10343-022-00816-x>
- Andrade, F. V., Mendonça, E. D. S., & Silva, I. R. D. (2013). Organic acid adsorption and mineralization in oxisols with different textures. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37(4), 976-985.
- Aoki, M., Fujii, K., & Kitayama, K. (2012). Environmental control of root exudation of low-molecular weight organic acids in tropical rainforests. *Ecosystems*, 15(7), 1194-1203.





- Badr M, Shafei A, Sharaf El-Deen S (2006) The dissolution of K and P-bearing minerals by silicate dissolving bacteria and their effect on sorghum growth. *Res J Agric Biol Sci* 2:5–11
- Bais, H. P., Weir, T. L., Perry, L. G., Gilroy, S., & Vivanco, J. M. (2006). The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Annual review of plant biology*, 57, 233–266. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105159>
- Berbara, R. L. L., García, A. C., & García, A. C. (2014). *Humic Substances and Plant Defense Metabolism* (pp. 297–319). Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8591-9_11
- Chen, Q., Li, B., Zhang, X., Ge, S., & Jiang, Y. (2020). Split application of humic acid significantly improves the yield, quality and nitrogen utilization efficiency of ‘Fuji’ apple. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 26(4), 757–764. <https://doi.org/10.11674/zwyf.19232>
- Chen, Y., Clapp, C., & Magen, H. (2004). Mechanisms of plant growth stimulation by humic substances: The role of organo-iron complexes. *Soil Science and Plant Nutrition*, 50, 1089 - 1095.
- Conklin, P. L. (2001). Recent advances in the role and biosynthesis of ascorbic acid in plants. *Plant, Cell & Environment*, 24(4), 383–394. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.00686.x>
- Colla, G., Nardi, S., Cardarelli, M., Ertani, A., Lucini, L., Canaguier, R., & Roupael, Y. (2015). Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 28–38. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.037>
- Conservan, G.B., Pizzeghello, D., Francioso, O., Foggia, M.D., Nardi, S., & Carletti, P. (2017). Biostimulant activity of humic substances extracted from leonardites. *Plant and Soil*, 420, 119–134.
- Dakora, F.D., Phillips, D.A. (2002). Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient environments. *Plant and Soil* 245, 35–47 <https://doi.org/10.1023/A:1020809400075>
- Fenton, G., & Helyar, K. R. (1999). The causes and management of acid soils. In *Invited paper for the Soils Workshop ‘Describing, analysing and managing our soil’* (25pp.) (pp. 22–26).
- Gao, Y.Z., Ren, L.L., Ling, W.T., Kang, F.X., Zhu, X.Z., Sun, B.Q., 2010. Effects of low-molecular-weight organic acids on sorption-desorption of phenanthrene in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 74(1), 51–59.
- Gaur AC (1990) Phosphate solubilizing microorganisms as biofertilizer. Omega Scientific Publications, New Delhi, p 176
- Gerke, J. (2015). The acquisition of phosphate by higher plants: Effect of carboxylate release by the roots. A critical review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 178(3), 351.
- Ghadirnezhad Shiade, S. R., Fathi, A., Minkina, T., vd. (2023a). Biochar application in agroecosystems: a review of potential benefits and limitations. *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03470-z>
- Ghadirnezhad Shiade, S. R., Fathi, A., Taghavi Ghasemkheili, F., vd. (2023b). Plants' responses under drought stress conditions: effects of strategic management approaches—A review. *Journal of Plant Nutrition*, 0, 1–33. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2105720>
- Ghadirnezhad Shiade, S. R., Pirdashti, H., Esmaeili, M. A., & Nematzade, G. A. (2023c). Biochemical and physiological characteristics of mutant genotypes in rice (*Oryza sativa* L.) contribute to salinity tolerance indices. *Gesunde Pflanzen*, 75, 303–315. <https://doi.org/10.1007/s10343-022-00701-7>
- Ghazijahani, N., Hadavi, E., & Jeong, B. R. (2014). Foliar sprays of citric acid and salicylic acid alter the pattern of root acquisition of some minerals in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Frontiers in plant science*, 5, 573. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00573>
- Halder AK, Mishra AK, Chakrabarty PK (1991) Solubilizing of inorganic phosphates by Bradyrhizobium. *Indian J Expt Biol* 29:28–31
- Haynes, R. J., & Mokolobate, M. S. (2001). Amelioration of Al toxicity and P deficiency in acid soils by additions of organic residues: a critical review of the phenomenon and the mechanisms involved. *Nutrient cycling in agroecosystems*, 59(1), 47–63.
- Henri F, Laurette NN, Annette D, John Q, Wolfgang M, Francois- Xavier E, Dieudonne N (2008). Solubilization of inorganic phosphates and plant growth promotion by strains of *Pseudomonas fluorescens* isolated from acidic soils of Cameroon. *Afric J Microbiol Res* 2:171–178
- Hinsinger, P. (2001) Bioavailability of Soil Inorganic P in the Rhizosphere as Affected by Root-Induced Chemical Changes: A Review. *Plant Soil*, 237, 173–195. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1013351617532>
- Huang, X.F., Hu, M., He, L.Y., Tang, X.Y., (2005). Chemical characterization of water-soluble organic acids in PM2.5 in Beijing, China. *Atmos. Environ.* 39(16), 2819–2827.
- Huang, Zhiwei; Guo, Baoyan; Zou, Yujie; He, Jingyi; Hu, Chaofan; Zhuang, Jianle; et al. (2022). Different Kinds of Citric Acid Based Carbon Dots and Their Enhancement of the Growth of Italian Lettuce. ACS Publications. Collection. <https://doi.org/10.1021/acsagascitech.2c00088>
- Jiang, H., Li, T., Han, X., Yang, X., & He, Z. (2012). Effects of pH and low molecular weight organic acids on competitive adsorption and desorption of cadmium and lead in paddy soils. *Environmental monitoring and assessment*, 184(10), 6325–6335.
- Jindo, K., Martim, S.A., Navarro, E.C., Pérez-Alfocea, F., Hernández, T., García, C., Aguiar, N.O., & Canellas, L.P. (2012). Root growth promotion by humic acids from composted and non-composted urban organic wastes. *Plant and Soil*, 353, 209–220.
- Jones, D. L. (1998). Organic acids in the rhizosphere. *Plant and Soil*, 205, 25–44.
- Jones, D. L., Dennis, P. G., Owen, A. G., & Van Hees, P. A. (2003). Organic acids in soil. *Plant and Soil*, 248, 31–41. <https://doi.org/10.1023/A:1022304332313>
- Juszczuk, I. M., & Rychter, A. M. (2003). Alternative oxidase in higher plants. *Acta biochimica Polonica*, 50(4), 1257–1271.
- Kalbitz, K., Solinger, S., Park, J.-H., Michalzik, B., & Matzner, E. (2000). Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: A review. *Soil Science*, 165(4), 277–304. <https://doi.org/10.1097/00010694-200004000-00001>
- Karlıdag, H., Yildirim, E., & Turan, M. (2009). Salicylic acid ameliorates the adverse effect of salt stress on strawberry. *Scientia Horticulturae*, 122(4), 514–518. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162009000200006>





- Kazemi, M., Abdossi, V., Kalateh Jari, S., & Ladan Moghadam, A. R. (2018). Effect of pre- and postharvest salicylic acid treatment on physio-chemical attributes in relation to the vase life of cut rose flowers. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 93(1), 81–90. <https://doi.org/10.1080/14620316.2017.1344571>
- Kazemi, M., Hadavi, E., & Hekmati, J. (2012). Effect of salicylic acid, malic acid, citric acid and sucrose on antioxidant activity, membrane stability and ACC-oxidase activity in relation to vase life of carnation cut flowers.
- Kleerebezem, R., Hulshoff Pol, L.W., Lettinga, G., 1999. Anaerobic degradation of phthalate isomers by methanogenic consortia. *Appl. Environ. Microb.* 65(3), 1152–1160.
- Kochian, L. V., Hoekenga, O. A., & Pineros, M. A. (2004). How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. *Annual review of plant biology*, 55, 459–493. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141655>
- Kuzyakov, Y. (2010). Priming effects: Interactions between living and dead organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*. <https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2010.04.003>
- Kuzyakov, Y., & Razavi, B. S. (2019). Rhizosphere size and shape: temporal dynamics and spatial stationarity. *Soil Biology and Biochemistry*, 135, 343–360.
- Lambers, H & Poot, Pieter. (2003). *Structure and functioning of cluster roots and plant responses to phosphate deficiency* / edited by H. Lambers and P. Poot. Dordrecht ; Boston : Kluwer Academic Publishers
- Lassaletta, L., Billen, G., Grizzetti, B., Anglade, J., & Garnier, J. (2014). 50 year trends in nitrogen use efficiency of world cropping systems: The relationship between yield and nitrogen input to cropland. *Environmental Research Letters*, 9(10), 104011. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/10/104011>
- Lehmann, J., ve Kleber, M. (2015). The contentious nature of soil organic matter. *Nature*, 528(7580), 60–68. <https://doi.org/10.1038/nature16069>
- Lundström, U. V., Van Breemen, N., & Bain, D. (2000). The podzolization process. A review. *Geoderma*, 94(2-4), 91–107.
- Luo, Y., Yu, H., Yu, J., Liu, F., Wang, Q., and Liu, J. (2026). The perspective functions of organic acids to restore salt-affected soils and plant stress resistance. *Plant Stress*, vol. 20, Art. no. 101321, Elsevier, 2026. doi:10.1016/j.stress.2026.101321.
- Macias-Benitez, S., Garcia-Martinez, A. M., Caballero Jimenez, P., Gonzalez, J. M., Tejada Moral, M., & Parrado Rubio, J. (2020). Rhizospheric Organic Acids as Biostimulants: Monitoring Feedbacks on Soil Microorganisms and Biochemical Properties. *Frontiers in plant science*, 11, 633. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00633>
- Maciaszczyk, P., Szwalbińska, M., & Krawczyk, J. (2020). Influence of low molecular weight organic acids on the mobility of heavy metals in soils. *Journal of Soils and Sediments*, 20, 2572–2582. <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02572-9>
- Marschner, H. (2012) *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Vol. 89, Academic Press, London, 651 ISBN:978-0-12-384905-2
- Mimmo, T., Ghizzi, M., Marzadori, C., & Gessa, C. E. (2008). Organic acid extraction from rhizosphere soil: effect of field-moist, dried and frozen samples. *Plant and soil*, 312(1), 175–184.
- Morgan, J. A. W., Bending, G. D., & White, P. J. (2005). Biological costs and benefits to plant–microbe interactions in the rhizosphere. *Journal of experimental botany*, 56(417), 1729–1739.
- Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A. and Vianello, A. (2002) Physiological Effects of Humic Substances on Higher Plants. *Soil Biology and Biochemistry*, Exeter, 34, 1527–1536. [http://dx.doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00174-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00174-8)
- Nardi, S., Schiavon, M., & Francioso, O. (2021). Chemical Structure and Biological Activity of Humic Substances Define Their Role as Plant Growth Promoters. *Molecules*, 26(8), 2256. <https://doi.org/10.3390/molecules26082256>
- Neumann, G., ve Römheld, V. (1999). Root excretion of carboxylic acids and protons in phosphorus-deficient plants. *Plant and Soil*, 211(1), 121–130. <https://doi.org/10.1023/A:1004380832118>
- Nwoke, O. C., Diels, J., Abaidoo, R., Nziguheba, G., & Merckx, R. (2008). Organic acids in the rhizosphere and root characteristics of soybean (*Glycine max*) and cowpea (*Vigna unguiculata*) in relation to phosphorus uptake in poor savanna soils. *African Journal of Biotechnology*, 7(20).
- Oburger, E., & Schmidt, H. (2016). New methods to unravel rhizosphere processes. *Trends in Plant Science*, 21(3), 243–255. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.12.005>
- Perminova, I. V., Frimmel, F. H., Kudryavtsev, A. V., Kulikova, N. A., Abbt-Braun, G., Hesse, S., & Petrosyan, V. S. (2003). Molecular weight characteristics of humic substances from different environments as determined by size exclusion chromatography and their statistical evaluation. *Environmental science & technology*, 37(11), 2477–2485.
- Qin, F., Shan, X. Q., & Wei, B. (2004). Effects of low-molecular-weight organic acids and residence time on desorption of Cu, Cd, and Pb from soils. *Chemosphere*, 57(4), 253–263. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.06.010>
- Rejeb, I., Pastor, V., & Mauch-Mani, B. (2014). Plant responses to simultaneous biotic and abiotic stress: molecular mechanisms. *Plants*, 3, 458–475. <https://doi.org/10.3390/plants3040458>
- Richardson, A.E., Barea, J.M., McNeill, A.M. et al. (2009). Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. *Plant Soil* 321, 305–339 <https://doi.org/10.1007/s11104-009-9895>
- Richardson, A.E., Barea, J.M., McNeill, A.M. et al. Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. *Plant Soil* 321, 305–339 (2009). <https://doi.org/10.1007/s11104-009-9895>
- Rodríguez, H., & Fraga, R. (1999). Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology advances*, 17(4-5), 319–339. [https://doi.org/10.1016/s0734-9750\(99\)00014-2](https://doi.org/10.1016/s0734-9750(99)00014-2)
- Rouphael Y and Colla G (2018) Synergistic Biostimulatory Action: Designing the Next Generation of Plant Biostimulants for Sustainable Agriculture. *Front. Plant Sci.* 9:1655. doi: 10.3389/fpls.2018.01655
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Biostimulants in Agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 11, 40. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>
- Ryan, P. R., Delhaize, E., & Jones, D. L. (2001). Function and mechanism of organic anion exudation from plant roots. *Annual review of plant biology*, 52(1), 527–560.





- Sah, A., Madhavi, M., Subbaramamma, P., Reddy, P. V. K., & Sivakumar, V. (2026). Hexanal and Salicylic acid: Improves postharvest quality and shelf life of strawberry (*Fragaria ananassa* cv. Winter Dawn) under low storage temperature. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 11(1), 88–93. <https://doi.org/10.26832/24566632.2026.1101013>
- Sassi, S., Aydi, S., Gonzalez, E. M., Arrese-Igor, C., & Abdelly, C. (2010). Understanding osmotic stress tolerance in leaves and nodules of two *Phaseolus vulgaris* cultivars with contrasting drought tolerance. *Symbiosis*, 52(1), 1–10.
- Sayyari, M., Babalar, M., Kalantari, S., Serrano, M., & Valero, D. (2009). Effect of salicylic acid treatment on reducing chilling injury in stored pomegranates. *Scientia Horticulturae*, 121(3), 313–319. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.02.012>
- Shen, J., Yuan, L., Zhang, J., Li, H., Bai, Z., Chen, X., Zhang, W., & Zhang, F. (2011). Phosphorus dynamics: from soil to plant. *Plant physiology*, 156(3), 997–1005. <https://doi.org/10.1104/pp.111.175232>
- Sheng XF, He LY (2006) Solubilization of potassium-bearing minerals by a wild-type strain of *Bacillus edaphicus* and its mutants and increased potassium uptake by wheat. *Can J Microbiol* 52:66–72
- Si P, Shao W, Yu H, Xu G and Du G (2022) Differences in Microbial Communities Stimulated by Malic Acid Have the Potential to Improve Nutrient Absorption and Fruit Quality of Grapes. *Front. Microbiol.* 13:850807. doi: 10.3389/fmicb.2022.850807
- Sidhu, G. S. (2016). Heavy metal toxicity in soils: sources, remediation technologies and challenges. *Adv Plants Agric Res*, 5(1), 445–446.
- Simine DC, Sayer JA, Gadd GM (1998) Solubilization of zinc phosphate by a strain of *Pseudomonas fluorescens* isolated from a forest soil. *Biol Fertil Soils* 28:87–94
- Sobczak, A., Kućko, A., Pióro-Jabrucka, E., Gajc-Wolska, J., & Kowalczyk, K. (2023). Effect of Salicylic Acid on the Growth and Development of Sweet Pepper (*Capsicum annuum* L.) under Standard and High EC Nutrient Solution in Aeroponic Cultivation. *Agronomy*, 13(3), 779. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030779>
- Strobel, B. W., Borggaard, O. K., Hansen, H. C. B., Andersen, M. K., & Raulund-Rasmussen, K. (2005). Dissolved organic carbon and decreasing pH mobilize cadmium and copper in soil. *European Journal of Soil Science*, 56(2), 189–196.
- Uroz, S., Calvaruso, C., Turpault, M. P., & Frey-Klett, P. (2009). The microbial weathering of soil minerals, ecology, actors and mechanisms. *Trends Microbiol*, 17, 378–387.
- van Hees, P.A.W., Lundström, U.S., Giesler, R., (2000). Low molecular weight organic acids and their Al complexes in soil solution-Composition, distribution and seasonal variation in three podzolized soils. *Geoderma* 94(2-4), 173–200.
- van Schie BJ, Hellingwerf KE, Vandijken J, Elferink MGL, Van Diji JM, Kuenen JG, Konings N (1985). Energy transduction by electron transfer via a pyrroquinoline quinine dependent glucose dehydrogenase in *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Acinetobacter calcoaceticum* (var. Lowoffi). *J Bacteriol* 163:493–499
- Vance, C. P., Uhde-Stone, C., & Allan, D. L. (2003). Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *The New phytologist*, 157(3), 423–447. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00695.x>
- Vidyashree DN, Muthuraju R, Panneerselvam P, Mitra D (2018) Organic acids production by zinc solubilizing bacterial isolates. *Intern J Curr Microbiol Appl Sci* 7(10):626–633
- Westergaard, B., & Hansen, H. C. (1998). Determination of anions in soil solutions by capillary zone electrophoresis. *Analyst*, 123(4), 721–724.
- Xiao, M., & Wu, F. (2014). A review of environmental characteristics and effects of low-molecular weight organic acids in the surface ecosystem. *Journal of environmental sciences (China)*, 26(5), 935–954. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(13\)60570-7](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(13)60570-7)
- Zandonadi, D. B., Canellas, L. P., & Façanha, A. R. (2007). Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast H⁺ pumps activation. *Planta*, 225(6), 1583–1595. <https://doi.org/10.1007/s00425-006-0454-2>
- Zandonadi, D. B., Santos, M. P., Dobbss, L. B., Olivares, F. L., Canellas, L. P., Binzel, M. L., Okorokova-Façanha, A. L., & Façanha, A. R. (2010). Nitric oxide mediates humic acids-induced root development and plasma membrane H⁺-ATPase activation. *Planta*, 231(5), 1025–1036. <https://doi.org/10.1007/s00425-010-1106-0>
- Zhu, H., Bing, H., & Wu, Y. (2022). Citric acid promotes the mobilization of phosphorus under the lower concentration of low molecular weight organic acids in acidic forest soil. *Applied and Environmental Soil Science*. <https://doi.org/10.1155/2022/5071907>





Enzyme Assisted Extraction of Phenolic Compounds From Mandarin Peels

Dicle Erciyas¹, Özlem Akpınar^{2*}

¹Ankara Gıda Kontrol Laboratuvar Müdürlüğü, 06070, Ankara

²Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 60000, Tokat

Abstract

In this research, enzyme assisted extraction of phenolic compounds from mandarin peels were studied, and ideal extraction conditions were determined to extract phenolic compounds with high yield from them. It was determined that the extraction time and liquid/solid ratio for the peel were 60 minutes and 10 liquid/solid (mL/g), enzyme activity was 0.13 U/mL. Under these conditions, extracted total phenolic compounds from mandarin peels were found as 1.83 mg GAE/mL, while their extracted total flavonoid compounds were determined as 1.42 mg QE/mL. It was found that total phenolic and flavonoid yields and antioxidant activities of the extracts obtained enzymatically were higher than those obtained by conventional extraction methods. The results showed that enzyme assisted extraction method was suitable method to obtain bioactive compounds from mandarin peels.

Key Words: *Enzymatic Extraction, Phytochemical, Flavonoid, Phenolic, Antioxidant.*

Mandalina Kabuklarından Fenolik Bileşiklerin Enzim Destekli Ekstraksiyonu

Özet

Bu araştırmada enzim destekli ekstraksiyon yöntemi ile mandalina kabuklarından fenolik bileşik ekstraksiyonu çalışılmış ve yüksek verimde fenolik bileşik ekstraksiyonu için ideal koşullar belirlenmiştir. Ekstraksiyon süresi ve sıvı/katı oranı 60 dakika ve 10 sıvı/katı (mL/g) olarak, enzim aktivitesi 0.13 U/mL olarak belirlenmiştir. Bu koşullarda ekstrakte edilen toplam fenolik bileşik miktarları mandalina kabukları için 1.83 mg GAE/mL; toplam flavonoid bileşik miktarları ise 1.42 mg QE/mL olarak bulunmuştur. Enzimatik olarak elde edilen ekstraktın toplam fenolik ve flavonoid madde verimleri ve antioksidan aktiviteleri geleneksel yöntem ile elde edilen ekstraktlara göre daha yüksek bulunmuştur. Sonuçlar, mandalina kabuklarından biyoaktif bileşik üretimi için enzim destekli ekstraksiyonun uygun bir yöntem olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: *Enzimatik Ekstraksiyon, Fitokimyasal, Flavonoid, Fenolik, Antioksidan*

Giriş

Gıda atıklarının sürdürülebilir bir şekilde yönetimi günümüzün en önemli sorunlarından biridir. Meyve ve sebzelerin kabuk, posa, tohum ve çekirdek gibi atıkları önemli bir ekonomik değeri olmayan hayvan yemi olarak kullanılsa da genellikle atılarak çevresel problemlere yol açmaktadır. Meyve ve sebze atıkları fenolik bileşikler dahil olmak üzere, vitaminler, mineraller ve antioksidanlar gibi önemli biyoaktif bileşikler ve diyet lifi kaynakları olup; gıda ve gıda dışı ilaç, kozmetik ve hayvancılık gibi endüstrilerinde değerlendirilme potansiyeli olan, düşük maliyetli ve yenilenebilir kaynaklardır (Islam ve ark., 2023; Amulya & Ul Islam, 2023). Farklı yapıları sahip fenolik bileşikler, bitkilerin organoleptik özelliklerine katkı sağlayan ikincil metabolitlerdir ve antioksidan potansiyellerinin yanı sıra antikanserojen, antimikrobiyal, antitrombotik, antiproliferatif, antidiyabetik ve antialerjen özelliklere sahiptir (Demir ve ark., 2019; Demir & Akpınar, 2020; Lama-Muñoz & Contreras, 2022; Garcia-Salas ve ark., 2010).

Ekstraksiyon fenolik bileşiklerin elde edilmesinde oldukça önemli olup, verimli bir ekstraksiyonun süresi kısa, uygulanması kolay, maliyeti düşük, hedef maddenin kaybına neden olmamalı veya yapısını bozmamalı ve ekstraksiyon sonunda çözücü kalıntısı bırakmamalıdır. Çözücü ve enerji tüketimini, kirliliği ve maliyeti azaltacak, zamandan tasarrufu sağlayacak ve ekstra bir saflaştırma gereksinimini ortadan kaldıracak alternatif farklı ekstraksiyon teknikleri araştırılmaktadır. Bu tekniklerinden başlıcaları mikrodalga destekli, ultrason destekli, darbeli elektrik alanı destekli, enzim destekli ekstraksiyon, basınçlı sıvı ve süperkritik akışkan ekstraksiyon yöntemleri olarak sıralanabilir (Büyüktuncel, 2012; Katırcı, 2023; Lama-Munoz & Contreras, 2022; Garcia-Salas ve ark., 2010). Bunlar arasında çevre dostu ve yenilikçi ekstraksiyon tekniği olan enzim destekli ekstraksiyon yöntemi çözücü kullanımını azaltarak son ürünlerdeki kalıntı oluşumunu engellemektedir. Hücre duvarını parçalayan enzimler kullanılarak sitoplazmik içeriğin ekstraksiyon sıvısına hareketi sağlanır ve böylece fenolik bileşiklerin ekstraksiyonu gerçekleşmiş olur. Enzim destekli ekstraksiyon yöntemi spesifiktir, verimi yüksektir, düşük





sıcaklıklarda ve ılımlı pH'larda ekstraksiyon gerçekleştiğinden elde edilen ekstraktın fizikokimyasal özelliklerine ve biyolojik aktivitesine zarar vermemektedir (Dai & Mumber, 2010). Ayrıca kullanılan düşük sıcaklık sayesinde enerji tüketimi daha azdır ve yüksek sıcaklıkta meydana gelen ekipman korozyonuna da neden olmamaktadır. Bu nedenlerden dolayı diğer yöntemlere kıyasla çevre dostu bir yöntemdir (Marathe ve ark., 2019).

Bu çalışmanın amacı mandalina kabuklarında kokteyl bir enzim olan Viskozye (ksilanaz, hemiselüloz, glukanaz ve selüloz) ile fenolik bileşiklerin yüksek bir verimle ekstraksiyonudur. Bu amaç doğrultusunda verim bakımından ekstraksiyon koşulları araştırılmış, elde edilen ekstraktın antioksidan aktiviteleri incelenerek fitokimyasal bileşikler kalitatif taranmıştır. Ayrıca geleneksel ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen sonuçlar hem yöntem bazında karşılaştırılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Materyal

Araştırmada kullanılan mandalina kabukları yerel marketlerden temin edilmiştir. Kabuklar doğranarak küçük parçalara ayrılmış ve evsel fırında 50°C'de kurutulmuştur. Daha sonra öğütülmüş ve +4°C'de depolanmıştır. Analizlerin her biri 3 paralel, 2 tekrür halinde yapılmıştır.

Viskozye L® (*Aspergillus sp.*) enzimi, 2,4,6-tripiridil-s-triazin (TPTZ), 3-Etilbenzothiazolin-6-sulfonik asit (ABTS), 2,2 difenil-1-pikrohidrozil (DPPH), 6-hidroksi-2,5,7,8-tetrametilkroman-2-karboksilik asit (Troloks) ve 2-(3,4-Dihidroksifenil)-3,5,7-trihidroksi-4H-1-benzopiran-4-birdihidrat (Quercetin) kimyasalları Sigma-Aldrich (St. Louis, MO; ABD)'den; 3 Folin-Cioaltea phenol reagent, Dinitrosalisilik asit (DNS) Merck KGaA (Almanya)'dan, 4,5-trihidroksibenzoik asit (gallik asit) Alfa Aesar (Almanya)'dan temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan diğer kimyasallar ise Merck KGaA (Almanya)'dan ve Sigma-Aldrich (St. Louis, MO; ABD)'den alınmıştır.

Yöntem

Genel Analizler

Nem ve kül oranları gravimetrik olarak, protein miktarları kjeldahl yöntemi ile, toplam yağ içeriği Ankom yağ ekstraksiyon cihazıyla gravimetrik olarak analiz edilmiştir (AOAC, 2000). Toplam şeker içeriği glikoz standardı kullanılarak spektrofotometrede fenol-sülfürik asit yöntemi (Nielsen, 2024) ile, Abbe refraktometresi (Centro de Enseñanza Técnica Industrial, Ceti, Meksika) ile de ekstraktların suda çözünür kuru madde içeriği ölçülmüştür (Oluyori ve ark., 2022).

Enzim Destekli Ekstraksiyon

Kurutulmuş ve öğütülmüş mandalina kabuklarında fenolik bileşiklerin ekstraksiyonu 0.1 M sitrat tampon çözeltisi (pH 5) içinde 50°C sıcaklıkta ve 150 rpm'de çalışan çalkalamalı inkübatörde gerçekleştirilmiştir. Kurutulmuş ve öğütülmüş mandalina kabuklardan farklı miktarlarda (1.67 g, 2.5 g ve 5.0 g), farklı enzim aktivitelerinde (0.026 U/mL, 0.079 U/mL, 0.13 U/mL ve 0.26 U/mL) ve farklı sürelerde (30 dk, 60 dk, 120 dk ve 240 dk) fenolik bileşikler ekstrakte edilmiştir. Ekstraksiyon süresi sonunda enzim ısı ile inaktive edildikten sonra ekstraktlar önce filtre edilmiş sonra 4000 rpm'de 10 dakika santrifüjlenmiş ve -18°C'de saklanmıştır (Kitryté ve ark., 2017).

Geleneksel Ekstraksiyon

Kurutulmuş ve öğütülmüş 5 g meyve kabukları 10:1 (mL solvent/g kabuk) oranında 50 mL %25'lik etil alkol çözeltisi karıştırılmış ve 60°C sıcaklıkta 120 dakika su banyosunda ekstraksiyona tabi tutulmuştur. Ekstraksiyon süresi sonunda örnekler önce filtre edilmiş, sonra 4000 rpm'de 10 dakika santrifüjlenmiş ve -18°C'de saklanmıştır (Cai ve ark., 2004).

Toplam Fenolik, Flavonoid Madde ve İndirgen Şeker Tayini

Ekstraktların toplam fenolik bileşik miktarı Singleton ve ark., (1965) tarafınca belirlenen metoda göre 2 N Folin-Cioaltea fenol ayırıcı kullanılarak belirlenmiştir ve sonuçlar gallik asit eşdeğeri (GAE) olarak verilmiştir. Ekstraktların toplam flavonoid içeriklerinin tespiti Zhishen ve ark., (1999) tarafından belirlenen yöntemle göre gerçekleştirilmiştir ve standart olarak kuarsetin kullanılmıştır. Ekstraktların indirgen şeker analizleri DNS yöntemi ile 560 nm'de spektrofotometrik olarak glikoz standardı (1 mg/mL) kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Miller, 1959).

Antioksidan Kapasitesinin Tayini

Ekstraktların demir (III) indirgeme kapasitesi (FRAP) Benzie ve Strain (1996) tarafından tanımlanan yöntemle göre yapılmıştır ve sonuçlar "Troloks Eşdeğeri (TE)" olarak ifade edilmiştir. DPPH (2,2 diphenyl-1-picrylhydrazyl) radikal süpürme kapasitesi Brand-Williams ve ark. (1995)'a göre yapılmış ve sonuçlar "Troloks Eşdeğeri (TE)" olarak ifade edilmiştir. Troloks Eşdeğeri Antioksidan Kapasitesi (TEAC/ABTS) ABTS^{•+} radikali süpürme kapasitesi (Re ve ark. 1999) yöntemine göre yapılmış ve sonuçlar "Troloks Eşdeğeri (TE)" olarak ifade edilmiştir.

Kalitatif Analizler

Ekstraktın kalitatif analizleri yapılarak fenolik ve flavonoidler dışında diğer fitokimyasal bileşikler de taranmıştır (Janarthanan ve ark., 2012). Ekstrakta tanen içeriği, örnekler %52'lik FeCl₃ çözeltisi ile karıştırılarak





yeşil renk oluşumu ile tespit edilmiştir. Ekstraktların üzerine 2 N NaOH eklenerek 5 dakika kaynatılmış ve ortaya çıkan mavi renk antosiyaninlerin, sarı renk oluşumu ise betasiyaninlerin göstergesidir. Saponin varlığı ekstraktların saf su karıştırılması sonunda köpük oluşumu ile incelenmiştir. Kinon için örnekler aynı hacimde H₂SO₄ ile karıştırılmış ve kırmızı renk oluşumu gözlenmiştir. Ekstraktların üzerine asetik asit, H₂SO₄ ve birkaç damla %5'lik FeCl₃ çözeltisi karıştırılmış ve kahverengi renk ile kardiyak glikozit varlığını gözlenmiştir. Ekstraktlar kloroform karıştırılmış üzerine %10'luk amonyak damlatılmıştır. Pembe renk ise glikozit varlığını göstermiştir. Kumarin varlığı ekstraktların %10'luk NaOH ile karıştırılması sonunda sarı renk oluşumu ile gözlenmiştir. Ekstraktların kloroform karıştırılmış ve H₂SO₄ çözeltisi damlatılmıştır ve oluşan kırmızı renk terpenoid varlığını göstermiştir. Ekstraktlara sodyum bikarbonat eklendiğinde oluşan köpük ile asit varlığı taranmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Kül, Nem, Yağ, Protein ve Toplam Şeker İçerikleri

Meyve kabuklarının kimyasal bileşimlerindeki farklılıklar türe, yetiştirme koşullarına (toprak, güneş, yağış..), genetik faktörlere, tarımsal faktörlere ve kullanılan analitik yöntemlerdeki farklılıklara bağlı olarak değişmektedir (Hussain ve ark., 2023). Mandalina kabuklarının nemi %8.66, külü %3.65, protein %6.72 olarak tespit edilmiş olup, yağ içeriği ise %8.94 olarak bulunmuştur. Meyve kabuklarında bulunan karbohidratların tamamı (selüloz, hemiselüloz, pektin, nişasta ve serbest şekerler) toplam şeker miktarı ile ilişkilendirilmektedir (Magwaza & Opara, 2015) ve %24.65 olarak bulunmuştur.

Ekstraksiyon

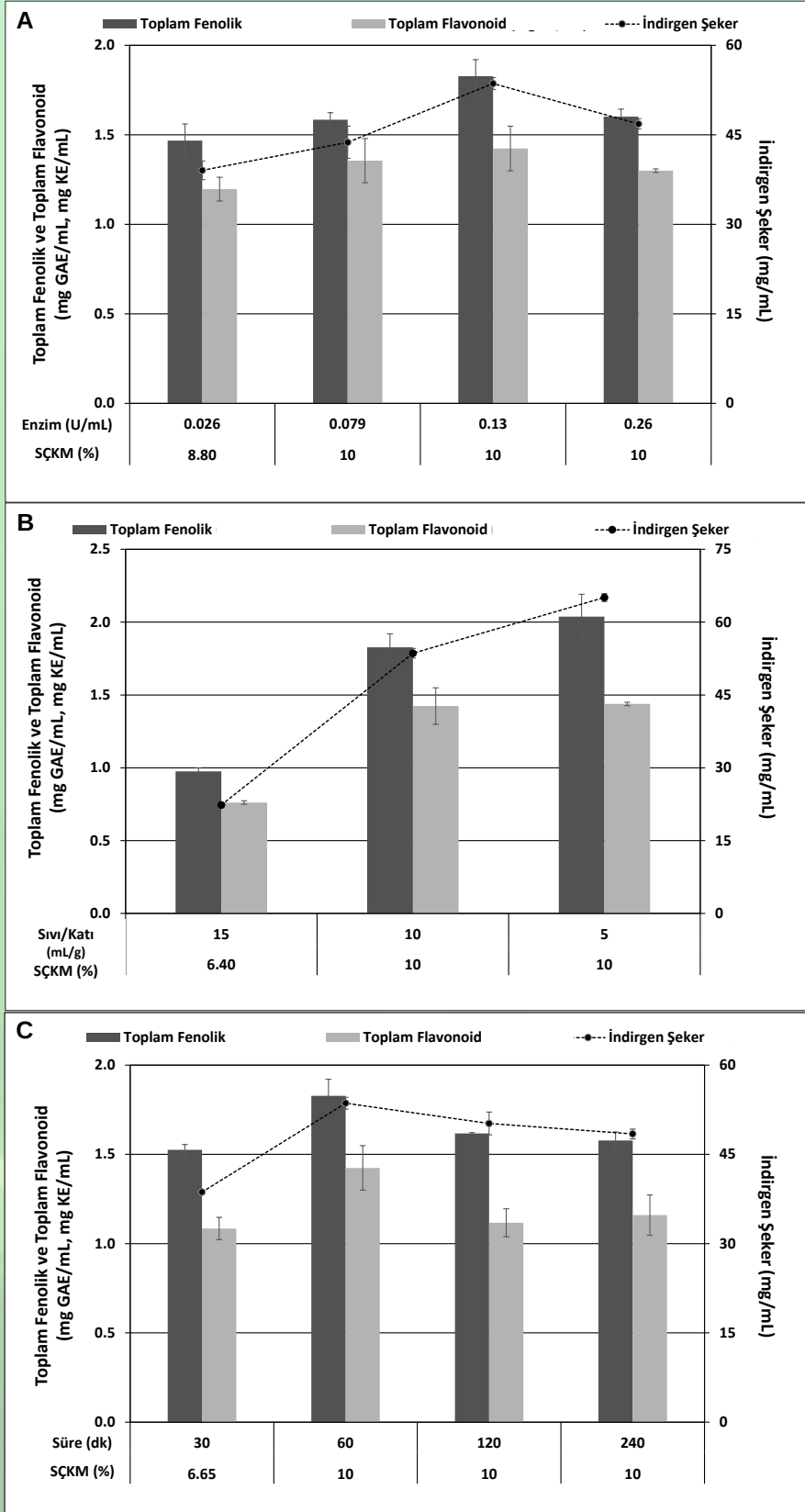
Fenolik bileşiklerin ekstraksiyonu sıvı/katı oranı, ekstraksiyon süresi ve enzim aktivitesi gibi parametrelerden oldukça fazla etkilemektedir (Granato ve ark., 2022; Kitryté ve ark., 2017). Bu çalışmada mandalina kabuklarından fenolik bileşiklerin enzim destekli ekstraksiyonu farklı sıvı/katı oranı, süre ve enzim aktivitelerinde gerçekleştirilmiştir ve toplam fenolik ve flavonoid bileşik, suda çözünür kurumadde ve indirgen şeker içerikleri bakımından ekstraktlar değerlendirilerek fenolik bileşik ekstraksiyonu açısından veriminin yüksek olduğu uygun koşullar belirlenmiştir.

Farklı enzim aktivitelerinde mandalina kabukları ekstrakte edilerek elde edilen toplam fenolik madde ve toplam flavonoid madde miktarları değerlendirilmiştir. Ekstraksiyon 50 °C'de, 60 dk da gerçekleştirilmiş, sıvı/katı oranı 10:1 mL solvent/g kabuk olacak şekilde sabit tutulmuştur. Ekstraksiyon sonucunda toplam fenolik madde, flavonoid madde, SÇKM ve indirgen şeker miktarları ölçülerek sonuçlar sırasıyla Şekil 1'de sunulmuştur. Enzim aktivitesinde 0.026 U/mL'den 0.13 U/mL'ye artış toplam fenolik madde içeriğini artırmış; ancak daha fazla artışın ise azalmaya neden olduğu görülmüştür. Mandalina kabuğu ekstraktlarından en yüksek toplam fenolik madde ve flavonoid madde değerlerine 0.13 U/mL enzim aktivitesinde ulaşılmış olup, toplam fenolik ve flavonoid miktarları sırasıyla 1.83 mg GAE/mL ve 1.42 mg KE/mL olarak ölçülmüştür. SÇKM'nin ise artan enzim miktarı ile önemli ölçüde değişmediği gözlenmiştir. Enzim substratı tükettikten sonra, enzim konsantrasyonundaki artış verimde azalmalara neden olmaktadır. Ayrıca yapılan çalışmalarda enzim bitki hücre duvarını hidroliz ederken aynı zamanda proteinleri de serbest bıraktığı ve serbest kalan proteinlerinde fenolik bileşikler ile kompleks oluşturması sonucunda toplam fenolik bileşik verimini negatif etkilediği bildirilmiştir (Li ve ark., 2006).

Ekstraktların toplam fenolik ve flavonoid bileşik miktarları ile SÇKM oranları artan substrat miktarına göre artmıştır. Bununla beraber artan substrat konsantrasyonuna rağmen (kabuk/solvent) elde edilen fenolik ve flavonoid bileşik madde miktarı aynı oranda artmadığından için uygun sıvı katı oranı 10:1 mL solvent/g kabuk olarak belirlenmiştir. Ekstraksiyon süresinin toplam fenolik madde ve toplam flavonoid madde ekstraksiyonu üzerine etkisi de incelendiğinde, sürenin 30 dakikadan 60 dakikaya artışı ile toplam fenolik madde miktarı artmış, 60 dakikadan daha uzun sürelerin ise ekstrakte edilen toplam fenolik madde miktarını negatif etkilediği görülmüştür. En yüksek toplam fenolik bileşik ve flavonoid madde ekstraksiyonu 60 dakikalık ekstraksiyon süresi sonunda belirlenmiştir. Bu sürede 1.83 mg GAE/mL fenolik madde ve 1.42 mg KE/mL flavonoid madde elde edilmiştir. Şekil 1'den görüleceği üzere 60 dakikadan daha uzun ekstraksiyon süreleri, suda çözünür kurumadde değerini çok az etkilemektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda da uzun ekstraksiyon sürelerinde ve yüksek sıcaklıklarda biyoaktif bileşiklerin yapılarının bozulduğu bildirilmiştir (Kaur ve ark., 2024).

Karbohidratlar (selüloz, nişasta, hemiselüloz, pektin..) bitkilerin ana bileşenidir (Panche ve ark., 2016). Viskozye enzimi farklı enzimleri içeren bir karışım olduğu için ekstraksiyon sırasında bitki hücre duvarında bulunan polisakkaritleri oligosakkarit ve monosakkaritlere (fruktoz, arabinoz, glukoz vb.) hidrolize ederek indirgen şeker miktarını artırırken (Ivanković ve ark., 2023), biyoaktif bileşiklerin etkili bir şekilde serbest kalmasını sağlamaktadır (Aydın ve ark., 2025). Ekstraktların indirgen şeker içeriğinin, artan substrat miktarına bağlı olarak arttığı gözlenmiştir. Ekstraksiyon süresi ve enzim aktivitesi değerlendirildiğinde ise, 60 dakika ekstraksiyon süresinde en yüksek indirgen şeker içeriği ölçülmüştür (Şekil 1). Enzimin hidroliz edebileceği substrat miktarı arttığında indirgen şeker miktarı artmış; ancak enzim aktivitesinin ve ekstraksiyon süresinin artması ile indirgen şeker miktarında artış olmamıştır. Bu durum enzimin substrat ile doymuş olması ile açıklanabilir (Ivanković ve ark., 2023).





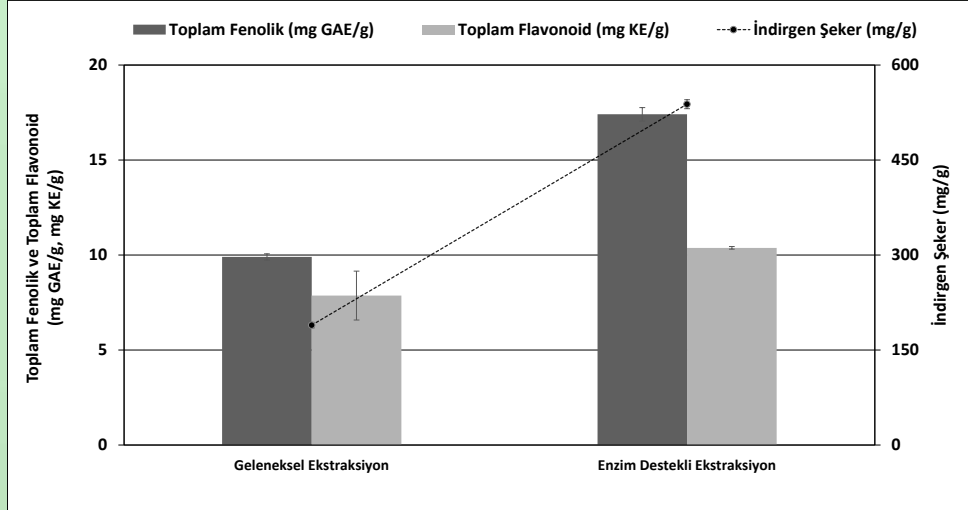
Şekil 1. Mandalina kabuklarından farklı koşullarda elde edilen ekstraktlarının fenolik, flavonoid ve indirgen şeker miktarları. A: Farklı enzim aktiviteleri B: Farklı katı sıvı oranları C: Farklı ekstraksiyon süreleri





Farklı koşullarda gerçekleştirilen ekstraksiyonlarda; yüksek miktarda fenolik madde ekstrakte etmek için uygun koşullar 10:1 mL/g sıvı/katı oranı ve 60 dakikalık ekstraksiyon süresi, enzim aktivitesi ise 0.13 U/mL olarak belirlenmiştir. Bu koşullarda gerçekleştirilen ekstraksiyonlarda toplam fenolik bileşik ve flavonoid bileşik miktarları 1.83 mg GAE/mL ve 1.42 mg KE/mL olarak bulunmuştur.

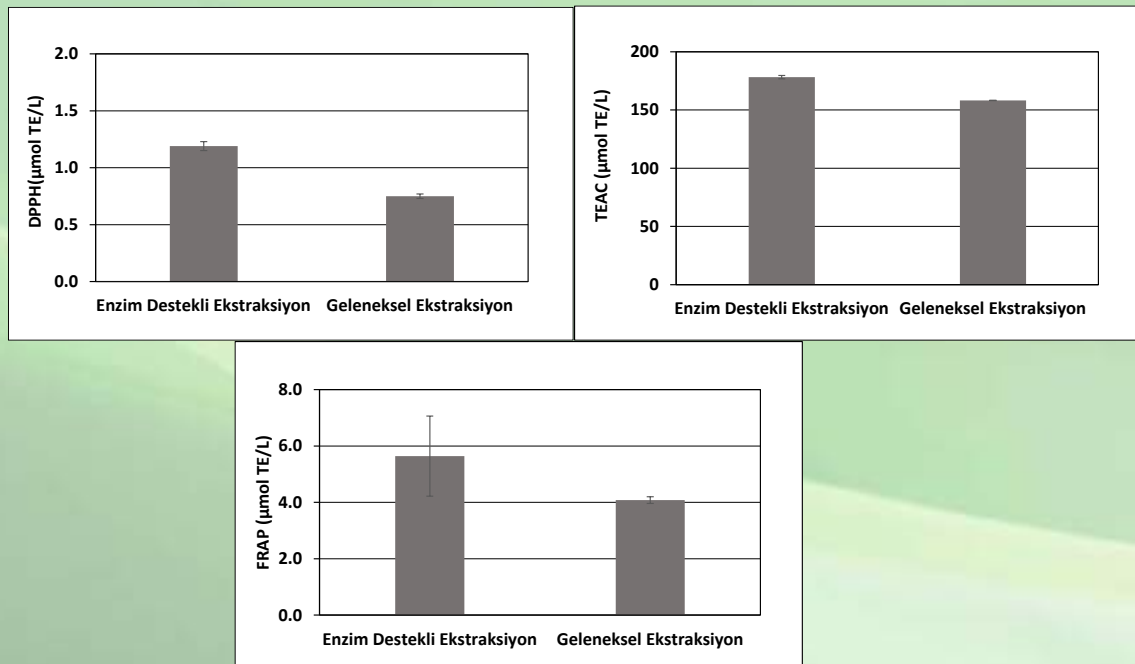
Enzimatik ve geleneksel yöntemle ekstrakte edilen fenolik ve flavonoid bileşik verimleri Şekil 2’de kıyaslamalı bir şekilde sunulmuştur. Şekilden görüldüğü üzere enzimatik destekli ekstraksiyon ile daha yüksek verimle toplam fenolik ve flavonoid madde ekstrakte edilmektedir. Kullanılan enzim hücre duvarı polisakaritlerini parçaladığından her iki kabuk ekstraktında da indirgen şeker verimleri geleneksel ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen ekstraktlara göre daha yüksek bulunmuştur.



Şekil 2. Enzimatik ve geleneksel yöntem ile elde edilen ekstraktların toplam fenolik, flavonoid bileşik ve indirgen şeker verimi

Antioksidan Kapasitesi

Antioksidan aktiviteye sahip bileşikler farklı yapı ve özelliklere sahip olduğundan, birden fazla yöntem ile antioksidan kapasitenin ölçülmesi daha doğru bir yaklaşımdır. Her iki yöntem ile elde edilen ekstraktların antioksidan kapasiteleri karşılaştırılmalı olarak Şekil 3’de sunulmuştur. Enzimatik olarak elde edilen ekstraktın geleneksel ekstraksiyon yöntemi elde edilen ekstrakta kıyasla antioksidan kapasiteleri de daha yüksektir.



Şekil 3. Enzimatik ve geleneksel yöntem ile elde edilen ekstraktların antioksidan aktiviteleri





Kalitatif Analizler

Enzimatik ve geleneksel ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen diğer fitokimyasal bileşiklerinin kalitatif olarak değerlendirilmesi Çizelge 1’de sunulmuştur. Her iki yöntem ile elde edilen ekstraktlarda tanen içeriğine rastlanırken antibiyotik ve antifungal özelliklere sahip saponinler enzim destekli ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen ekstraktta çok düşük miktarda rastlanmıştır. Antosiyaninler suda çözünen ve bitkilerde kırmızıdan mora kadar olan tonlardan sorumlu olan doğal renk pigmentleridir (Leopoldini ve ark., 2011) ve mandalina kabuğu ekstraktlarında antosiyanine rastlanmamıştır. Kırmızı renkten sorumlu betasiyanin bileşiği varlığı her iki ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen ekstraktlarda orta düzeyde tespit edilmiştir. Kinon her iki ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen ekstraktlarda çok yüksek düzeyde rastlanmıştır. Bitki savunmasında görev alan bir diğer önemli fitokimyasallardan olan glikozitler (Chung ve ark., 1998; Panche ve ark., 2016) ve terpenoid bileşikler ise gözlenmemiştir, ancak kalp yetmezliği tedavilerinde kullanılan kardiyak glikozit varlığı ise tespit edilmiştir. Kan pıhtılaşmasını önleyici (antikoagülan), antikanserojen, antifungal, antimikrobiyal özelliklere sahip olan kumarinler (Evcimen & Aslan, 2015; Patra, 2012), her iki yöntem ile elde edilen ekstraktlarda tespit edilmiştir. Organik asit ise geleneksel yöntemle elde edilen mandalina kabuğu ekstraktlarında gözlenmemiş olup diğerinde ise iyi oranda tespit edilmiştir.

Çizelge 1. Enzim destekli ve geleneksel ekstraksiyon yöntemleri ile elde edilen ekstraktların diğer fitokimyasal bileşikleri

Fitokimyasal Testler	Enzim Destekli Ekstraksiyon	Geleneksel Ekstraksiyon
Tanen	++++	++++
Saponin	+	-
Antosiyanin	-	-
Betasiyanin	+++	+++
Kinon	+++++	+++++
Glikozit	-	-
Kardiyak Glikozit	++++	++++
Terpenoid	-	-
Flavonoid	++	++
Fenol	++++	++++
Kumarin	+++++	+++++
Asit	++++	-

(+++++): çok yüksek, (++++): yüksek, (+++): iyi, (++) : orta, (+): düşük, (+): çok düşük, (-): tespit edilemedi

Sonuç

Önemli bir ekonomik değeri olmadığı gibi, nüfus artışı ile küresel sorun haline gelen gıda atıkları arasında meyve kabukları, biyoaktif bileşikler ve diyet lifi olarak hizmet edebilecek potansiyel kaynaklardır. Bu çalışmada, enzim destekli ekstraksiyon ile mandalina kabukları için uygun ekstraksiyon koşulları belirlenmiştir. Geleneksel yöntemle kıyasla enzimatik yöntemle elde edilen ekstraktların toplam fenolik, flavonoid bileşik verimlerinin ve antioksidan kapasitelerinin daha fazla olduğu görülmüştür. Sonuç olarak biyoaktif bileşik ekstraksiyonu enzimatik olarak, çevreye zararlı çözücü kullanılmadan, ılımlı koşullarda ve yüksek verimde gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada gıda endüstrisi atıklarının insan sağlığını iyileştirmek amacıyla gıda ve beslenme alanında, ilaç, tarım ve kozmetik gibi gıda dışı alanlarda ham madde olarak kullanılabilme potansiyeline sahip katma değeri daha yüksek bileşiklere çevre dostu bir yöntem olan enzim destekli ekstraksiyonla dönüştürülebileceği gösterilmiştir. Ayrıca yönteminin daha yaygın bir şekilde kullanılması ile çevre kirliliği azaltılabilecek ve gıda endüstrisinin sürdürülebilirliğine de katkı sağlanacaktır.

Beyanlar

Etik Onay Belgesi

Bu çalışmada etik onay belgesine ihtiyaç bulunmamaktadır.

Yazar Katkı Beyanı

Dicle Erciyas: Veri toplama, araştırma, analiz ve orijinal taslağın hazırlanması

Özlem Akpınar: Araştırmanın tasarlanması, metodoloji, bulguların değerlendirilmesi ve yazımını ve düzenlenmesini gerçekleştirmiştir

Çıkar Çatışması

Yazarlar bu araştırma makalesinde herhangi bir kişi ve/veya kurum ile çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir





Kaynaklar

- Amulya, P.R. & Ul Islam, R. (2023). Optimization of enzyme-assisted extraction of anthocyanins from eggplant (*Solanum Melongena* L.) peel. *Food Chemistry*:X, 18, 100643. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100643>
- AOAC. (2000). Official methods of analysis, 17th Edition. Association of official analytical chemist international, Gaithersburg, MA.
- Aydın, M., Tontul, İ., & Turker, S. (2025). Innovative approach for phenolic extract production from pomegranate by-products: Enzymatic liquefaction and ultrafiltration. *Food Bioscience*, 64, 105801. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.105801>
- Benzie, I. F. F. & Strain, J. J. (1996). The Ferric Reducing Ability Of Plasma (FRAP) As A Measure Of "Antioxidant Power": The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry*, 239, 70–76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
- Büyüktuncel, E. (2012). Gelişmiş Ekstraksiyon Teknikleri I. Hacettepe Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi, 32(2), 209-242.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M., & Berset, C. (1995). Use of Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. *LWT Food Science and Technology*, 28, 25–30. [http://dx.doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Cai, Y., Luo, Q., Sun, M., & Corke, H. (2004). Antioxidant Activity and Phenolic Compounds of 112 Traditional Chinese Medicinal Plants Associated With Anticancer. *Life Sciences*, 74, 157-21. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2003.09.047>
- Nielsen, S.S. (2024). Total Carbohydrate by Phenol-Sulfuric Acid Method. In: B.P. Ismail, S.S. Nielsen (Eds.), *Nielsen's food analysis laboratory manual*. Food Science Text Series. Springer, Cham.
- Chung, K., Wei, C., & Johnson, M.G. (1998). Are tannins a double-edged sword in biology and health?. *Trends in Food Science & Technology*, 9(4), 168-175. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(98\)00028-4](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(98)00028-4)
- Dai, J. & Mumper, R.J. (2010). Plant phenolics: Extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules*, 15(10), 7313-7352. <https://doi.org/10.3390/molecules15107313>
- Demir, T. & Akpınar, Ö. (2020). Biological activities of phytochemicals in plants. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 8(8), 1734-1746. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v8i8.1734-1746.3484>
- Demir, T., Akpınar, Ö., Kara, H., & Güngör, H. (2019). Nar kabuğundan antimikrobiyal ve antioksidan aktiviteye sahip fenolik bileşiklerin ekstraksiyon koşullarının optimizasyonu. *Gıda*, 44(2), 369-382. <https://doi.org/10.15237/gida.gd18081>
- Evcimen, M. & Aslan, R. (2015). Yaygın kullanıma sahip tıbbi aromatik bitkilerdeki bazı antioksidan fitokimyasalların fizyolojik etkileri. *Kocatepe Veteriner Dergisi*, 8(2), 65-78. 02199320009640
- Garcia-Salas, P., Morales-Soto, A., Segura-Carretero, A., & Fernández-Gutiérrez, A. (2010). Phenolic-compound-extraction systems for fruit and vegetable samples. *Molecules*, 15, 8813-8826. <https://doi.org/10.3390/molecules15128813>
- Granato, D., Fidelis, M., Haapakoski, M., Santoz, A., Viil, J., Hellström, J., Ratsep, R., Kaldmae, H., Bleive, U., Azevedo, L., Marjomaki, V., Zharkovsky, A., & Rap, N. (2022). Enzyme-assisted extraction of anthocyanins and other phenolic compounds from blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) press cake: From processing to bioactivities. *Food Chemistry*, 391, 133240. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133240>
- Hussain, T., Kalhor, D.H., & Yin, Y. (2023). Identification of nutritional composition and antioxidant activities of fruit peels as a potential source of nutraceuticals. *Food Chemistry*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1065698>
- Ivanković, A.P., Milivojević, A., Čorović, M., Simović, M., Banjanac, K., Jansen, P., Vukočić, A., Bogaard, E., & Bezbradica, D. (2023). In vitro evaluation of enzymatically derived blackcurrant extract as prebiotic cosmetic ingredient: extraction conditions optimization and effect on cutaneous microbiota representatives. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 10, 125. <https://doi.org/10.1186/s40538-023-00502-8>
- Islam, Md.R., Kamal, Md.M., Kabir, Md.R., Hasan, Md.M., Haque, A.R., & Hasan, S.M.K. (2023). Phenolic compounds and antioxidants activity of banana peel extracts: testing and optimization of enzyme-assisted conditions. *Measurement: Food*, 10, 100085. <https://doi.org/10.1016/j.meafoo.2023.100085>
- Janarthanan, U. K., Varadharajan, V., & Krishnamurthy, V. (2012). Physicochemical evaluation, phytochemical screening and chromatographic fingerprint profile of aegle marmelos l. leaf extracts. *World Journal of Pharmaceutical Research*, 1(3), 813-837.
- Kaur, S., Singh, V., Chopra, H., & Panesar, P. (2024). Extraction and characterization of phenolic compounds from mandarin peels using conventional and green techniques: a comparative study. *Discover Food*, 4, 60. 10.1007/s44187-024-00139-y
- Kitrytė, V., Kraujaliene, V., Sulniute, V., Pukalskas, A., & Venskuyonis, P.R. (2017). Chokeberry pomace valorization into food ingredients by enzyme-assisted extraction: process optimization and product characterization. *Food And Bioproducts Processing*, 105, 36–50. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2017.06.001>
- Kumar, M., Tomar, M., Punia, S., Amarowicz, R., & Kaur, C. (2020). Evaluation of cellulolytic enzyme-assisted microwave extraction of punica granatum peel phenolics and antioxidant activity. *Plant Foods for Human Nutrition*, 75, 614-620. 10.1007/s11130-020-00859-3
- Lama-Muñoz, A., & Contreras, M.d.M. (2022). Extraction systems and analytical techniques for food phenolic compounds: A Review. *Foods*, 11, 3671. <https://doi.org/10.3390/foods11223671>
- Leopoldini, M., Russo, N., & Toscano, M. (2011). The molecular basis of working mechanism of natural polyphenolic antioxidants. *Food Chemistry*, 125(2), 288- 306. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.08.012>
- Li, B. B., Smith, B., & Hossain, M. M. (2006). Extraction of phenolics from citrus peels: II. Enzyme-assisted extraction method. *Separation and Purification Technology*, 48(2), 189–196. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2005.07.019>
- Magwaza, L.S. & Opara, U.L. (2015). Analytical methods for determination of sugars and sweetness of horticultural products: A review. *Scientia Horticulturae*, 184, 179-192. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.01.001>
- Marathe, S.J., Jadhav, S.B., Bankar, S.B., Dubey, K.K., & Singhal, R.S. (2019). Improvements in the extraction of bioactive compounds by enzymes. *Sciencedirect*, 25, 62-72. 10.1016/j.cofs.2019.02.009





- Miller, G. L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, 31, 426-428. <http://dx.doi.org/10.1021/ac60147a030>
- Oluyori, A. P., Dada, A. O., Ogunnupebi, T. A., Owolabi, A. O., Adelani-Akande, T. A., & Inyinbor, A. A. (2022). Antimicrobial activity of *Chrysophyllum albidum* seed extract and its effect on the physicochemical properties of cherry tomato fruits during postharvest storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46, e17062. <https://doi.org/10.1111/jfpp.17062>
- Panche, A.N., Diwan, A.D., & Chandra, S.R. (2016). Flavonoids: An Overview. *Journal Of Nutritional Science*, 5(47), 1-15. 10.1017/jns.2016.41
- Patra, A.K. (2012). An overview of antimicrobial properties of different classes of phytochemicals. *Dietary Phytochemicals and Microbes*, 1-32. 10.1007/978-94-007-3926-0_1
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang M., & Rice, E.C. (1999). Antioxidant activity applying an improved abts radical cation decolorization assay. *Free Radicale Biology And Medicine*, 26, 1231-1237. 10.1016/s0891-5849(98)00315-3
- Singleton, V. L. & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144-158. 10.5344/ajev.1965.16.3.144





Value-added Marketing Strategies in Traditional Dairy Products: Geographical Indication, Branding, and Storytelling

Raheen Rizwan^{1*}, Mutlu Bulut²

¹Forman Christian College University, Faculty of Social Sciences, Department of Economics, 54600, Lahore, Pakistan.

² Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Agricultural Sciences and Technologies, Department of Animal Production and Technologies, 51240, Niğde, Türkiye.

Abstract

Traditional dairy products constitute an important element of cultural heritage and rural economies, particularly in regions with strong gastronomic traditions. In increasingly competitive and globalized markets, the sustainability and market success of these products depend on the implementation of value-added marketing strategies. This study aims to provide a comprehensive review of the literature on three key strategies—geographical indication (GI), branding, and storytelling—in the context of traditional dairy products. The study adopts a narrative literature review approach, examining national and international studies that address the role of these strategies in enhancing product value, differentiation, and consumer perception. Geographical indications are discussed as tools for protecting origin, authenticity, and quality, while branding is evaluated in terms of creating market recognition and competitive advantage. Storytelling is analyzed as a means of conveying cultural identity, tradition, and production processes, thereby strengthening emotional engagement with consumers. The findings of the review indicate that integrating GI certification, effective branding strategies, and storytelling practices contributes significantly to increasing perceived product value, consumer trust, and willingness to pay a premium. Furthermore, these strategies support not only economic sustainability but also the preservation of cultural heritage and the development of rural areas. In conclusion, the study highlights the importance of a holistic and integrated marketing approach in promoting traditional dairy products and suggests directions for future research and practical applications.

Key Words: Traditional dairy products, geographical indication, branding, storytelling.





Effect of Sweet Potato Flour Addition on Batter Quality and Oil Absorption of Fried Chicken Drumsticks

Gayani Mendis¹, Ruvini Mutucumarana^{1*}, Marcus Andrew²

¹Sabaragamuwa University of Sri Lanka, Faculty of Agricultural Sciences, Department of Livestock Production, 70140, Belihuloya, Sri Lanka.

²Maxies and Company (Pvt.) Ltd., 61170, Wennappuwa, Sri Lanka.

Abstract

Among different broiler chicken products, batter-coated fried chicken drumsticks are widely consumed. Deep-fat frying is known to increase oil absorption, which may cause adverse health effects. This study evaluated the effect of sweet potato flour (SPF) as a partial substitute for wheat flour (WF) on batter quality, oil absorption, and sensory acceptability of deep-fat-fried chicken drumsticks. Fresh chicken drumsticks (110.0 ± 8.72 g; Ross 308, unsexed chicken) were used. Batter was prepared with WF and SPF in different proportions. The experiment was conducted using a completely randomized design with five treatments and four replicates per treatment. Treatments consisted of different WF and SPF ratios: T1 (100% WF; Control), T2 (75% WF: 25% SPF), T3 (50% WF: 50% SPF), T4 (25% WF: 75% SPF), and T5 (100% SPF). Batter-coated drumsticks were examined for their proximate composition, gross energy (GE), physicochemical parameters, and sensory attributes. Results revealed that GE and moisture content were influenced by the treatments ($P < 0.05$). Crude protein content in the coated drumsticks decreased with increasing SPF levels ($P < 0.05$). Inclusion of SPF in batter reduced crude fat compared to the control ($P < 0.05$). Ash content was similar across all the treatments ($P > 0.05$), whereas the crude fiber increased with increasing SPF inclusion ($P < 0.05$). Batter pickup, frying yield, frying loss, pH, and water-holding capacity were similar across treatments ($P > 0.05$). Texture profile and instrumental color values (L^* , a^* , b^*) were not affected by SPF incorporation ($P > 0.05$). Sensory evaluation indicated that there were no differences in appearance, color, or aroma ($P > 0.05$) among the treatments. Sensory evaluation revealed that T2 reported the highest scores for crispiness and texture, while T4 reported the highest ratings for flavor and overall acceptability. In conclusion, substituting WF with 75% SPF can be recommended as the optimal formulation while maintaining product quality and sensory acceptability in fried chicken drumsticks.

Key Words: Batter-coated chicken drumsticks, Deep-fat frying, Oil absorption, Sweet potato flour, Wheat flour





Phenological and Yield Attributes variation of Nepalese Rice Landraces in Madhesh Province, Nepal

Abhisek Shrestha, Debin Baral*, Rubin Karki*, Suman Yadav*, Nawraj Kumar Yadav*,
Chitra Bhushan Yadav, Krishna Kumar Thakur

College of Natural Resource Management, Bardibas under Agriculture and Forestry University, Nepal

Abstract

Background: Madhesh Province of Nepal is recognized as a rich repository of traditional crop landraces due to its diverse agro-ecological conditions, long history of cultivation, and farmer-led selection practices. Rice landraces possess valuable genetic variability, but their performance under field conditions needs proper evaluation. Therefore, this study aimed to assess the phenological traits, yield attributes, and productivity of Nepalese rice landraces.

Methods: The field experiment was conducted at the farm of the College of Natural Resource Management (CNRM), Bardibas, Mahottari, Madhesh Province from June to November 2025. The experiment was laid out in a randomized complete block design (RCBD) with two replications. A total of thirty rice landraces were transplanted at a spacing of 20 × 20 cm. Recommended agronomic practices were followed. Phenological and yield-related data were recorded at different growth stages and analyzed statistically.

Results: The results showed significant variation among the landraces. Days to flowering ranged from 86 to 101 DAT, and maturity ranged from 117 to 129 DAT. Yield and yield-attributing traits were significantly different at the 5% level of significance. Panicle length ranged from 19.2 to 27.1 cm, grains per panicle from 44 to 139, and test weight from 17.9 to 36.12 g. Among the landraces, Harinkith recorded the highest grain yield (4.05 t/ha), followed by Lajhi (3.98 t/ha), while Akshaviya produced the lowest yield (0.79 t/ha). Biomass yield varied from 11.12 t/ha (Aangaa) to 39.03 t/ha (Dewosar). The highest harvest index was observed in Harinkith (18.39%), followed by Gahuma (14.34%), whereas the lowest was recorded in Bangaliya (4.86%).

Conclusion: The study demonstrated significant variability among rice landraces in terms of phenology, yield attributes, and productivity. Under the given conditions, Harinkith emerged as a promising landrace. However, further multi-location trials and participatory evaluations are recommended to confirm its adaptability and acceptability among farmers.

Key Words: Rice landraces, phenology, yield attributes, grain yield, harvest index





Response of Bio-fertilizer and Plant Density in Early Growth and Germination Diversity of Sunflower

Suman Yadav* Rubin Karki* Marshal Bajgai* Abhisek Shrestha

College of Natural Resource Management, Bardibas under Agriculture and Forestry University, Nepal

Abstract

Background: Sunflower (*Helianthus annuus* L.) is an important oilseed crop valued for its high-quality edible oil. In Nepal, rising demand for edible oil necessitates increased domestic production, particularly in Madhesh Province, which has strong cultivation potential. However, soil infertility and low germination often reduce plant stand and yield. Therefore, this study hypothesizes that the use of bio-fertilizers and optimal spacing can improve seedling growth and enhances yield.

Methods: The field experiment was conducted at farm of College of Natural Resource Management, Bardibas, Mahottari, Madhesh Province during February to March 2026. The field experiment was conducted in randomized complete block design (RCBD) with 3 replications to study the effects of plant spacing (15×10 cm, 15×15 cm, 15×2.5 cm, and 15×5 cm) and bio-fertilizer application on germination and growth of sunflower seed. Germination diversity and growth parameter were collected and analyzed by Genstat ver 2015.

Results: The results showed that both plant spacing and bio-fertilizer significantly affected most of the observed parameters. Bio-fertilizer along with (15×5cm) spacing shows higher germination (78%) followed by (15×15cm) spacing (71%) and lowest by spacing (15×2.5 cm). The spacing (15×5cm) with bio-fertilizer also improved growth traits such as root length (29.67 cm), shoot length (15.46 cm), total plant length(73.56 cm), leaf area(58.11cm²), and seedling vigor index. Closer spacing (15×2.5 cm) showed lower growth performance, although it performed better in some vigor indices.

Conclusion: The combined effect of spacing and bio-fertilizer played a significant role in influencing several traits. Among all treatments, (15×5 cm) spacing with bio-fertilizer gave the best results for sunflower growth.

Key Words: Bio-fertilizer, plant density, germination, growth parameter, sunflower, oilseeds





Comparative Study of Growth and Yield Characteristics of Barley Genotypes in Field Conditions

Sameera Shrestha^{1**}, Muskan Bista¹ Rabi Bhattarai¹, Nishma Pokharel¹, Satishma Khatiwada¹,
Janga Bahadur Ruchal¹, Abhishek Shrestha¹

College of Natural Resource Management, Agriculture and Forestry University, Bardibas, Nepal

Abstract

Background: Barley (*Hordeum vulgare*) is the oldest cultivated cereal crops and has played a major role in human agriculture for thousands of years. Improving its productivity require identifying genotypes with superior growth, yield, and yield attributing traits.

Methods: This experiment was conducted to evaluate the performance of different rice genotypes based on growth, yield, and yield-attributing traits under replicated conditions. 20 barley genotypes was used in experiment with two replications. Data were recorded on plant height at 52, 70, 82, and 104 days DAS, number of tillers, straw yield, grain yield, moisture content, and harvest index.

Results: Considerable variation was observed among genotypes for all measured traits. Plant height at 104 DAS ranged from 56.72 cm (NDV-2) to 92.48 cm (Xvcola-15), indicating differences in growth vigor. The highest number of tillers was recorded in NGRC 5997 (up to 219), followed by NGRC 6013 (up to 208). Grain yield ranged from 0.24 to 0.90 kg per plot, with Khadak Local producing the highest yield (0.72–0.90 kg), followed by NDB-1 (0.69–0.72 kg). Straw yield was highest in NDB-1 (up to 1.73 kg) and Khadak Local (up to 1.68 kg). The maximum 1000-seed weight was recorded in NDV-2 (about 44 g), indicating bold grains. Harvest index ranged from 18.54% to 34.88%, with Khadak Local and NGRC 7582 showing relatively higher efficiency.

Conclusion: Khadak Local, NDB-1 perform better in terms of grain yield, while NGRC 5997 and NGRC 6013 excelled in tillering capacity. These genotypes can be considered promising for further evaluation and potential use in rice improvement programs.

Key Words: barley, genotype, growth, yield





Microbial Seed Priming Enhanced the Germination and Early Seedling Growth of Sunflower

Nishma Pokharel^{1*}, Satishma Khatiwada¹, Abhisek Shrestha¹

Agriculture and Forestry University, Faculty of Agriculture, College of Natural Resource Management, Bardibas, Nepal

Abstract

Sunflower (*Helianthus annuus L.*) is a major oilseed crop valued for its high-quality edible oil, yet its productivity is often constrained by poor and uneven seed germination under field conditions. Bio-priming is an emerging and eco-friendly approach used to improve seed germination, seedling vigor, and overall crop performance. This experiment was conducted to evaluate the effect of bio-priming on germination and seedling growth of sunflower at Lab of College of Natural Resource Management, Bardibas, Mahottari during February-March, 2026. Modern dwarf variety was used in experiment using seven treatments (All microbes @10%, Azotobacter@10%, Beauveria@10%, cow urine@5%, Hydro-priming@10%, Metarhizium@10%, and Pseudomonas@10%) and four replications in Complete Randomized Design. The seeds were soaked for 12 hours in a priming solution and dried at room temperature for 2 hours. Germination diversity and growth parameter were collected and analyzed by Genstat ver 2015. The results revealed significant variation to all parameter except mean germination time. Seed priming with Azotobacter@10% resulted in the highest germination percentage (92.5%), mean leaf area (9.74 cm square), leaf area index (2.29), and seed vigor index-I (1061), while indicating superior seedling vigor and early plant growth. Metarhizium@10% produced the maximum root length (5.12 cm) and shoot length (6.93 cm), suggesting improved seedling development. Beauveria@10% showed the highest leaf number (4.10). However, cow urine@5% exhibited comparatively lower values for several growth parameters. Azotobacter@10% provides the most effective in improving germination and growth parameter and should be tested in large plot for validation.

Key Words: Bio-priming, germination, seedling, Sunflower, oilseed





Effects of calcium, boron, and microbial fertilizer applications on yield and quality of radish (*Raphanus sativus* L.)

Işın KOCABAŞ OĞUZ^{1*}, Songül ÇETİN TORUN²

^{1,2} Akdeniz University, Korkuteli Vocational School, Medicinal and Aromatic Plants Programme, Antalya, 07800, Türkiye.

Abstract

In this study, the effects of calcium, boron, and microbial fertilizer applications on growth, yield, and physiological characteristics of radish (*Raphanus sativus* L.) were investigated. The experiment was conducted during the autumn–winter growing season of 2025–2026 in Korkuteli district of Antalya, Türkiye, using a completely randomized design (CRD) with five treatments (control, calcium, calcium + boron, calcium + microbial fertilizer, and calcium + boron + microbial fertilizer) and three replications. The temporal changes in leaf chlorophyll content (SPAD) and electrolyte leakage (EL) were evaluated during the last four weeks prior to harvest. Significant differences were observed among treatments in terms of SPAD values, with the highest chlorophyll content obtained under calcium application. Electrolyte leakage values varied depending on the treatments, and the highest EL values were recorded in the control treatment. Significant differences were also found among treatments for growth and yield parameters at harvest. The highest root weight (73.58 g) and root length (55.09 mm) were obtained from the combined application of calcium, boron, and microbial fertilizer. Overall, combined fertilization significantly improved yield parameters, while calcium played a key role in enhancing chlorophyll content and maintaining membrane stability by reducing electrolyte leakage.

Key Words: *Raphanus sativus* L.; Plant nutrition; Nutrient interaction; Chlorophyll content; Electrolyte leakage; Membrane stability

Turpta kalsiyum, bor ve mikrobiyal gübre uygulamalarının verim ve kalite üzerine etkileri

Özet

Bu çalışmada, kalsiyum, bor ve mikrobiyal gübre uygulamalarının turp (*Raphanus sativus* L.) bitkisinde büyüme, verim ve fizyolojik özellikler üzerine etkileri araştırılmıştır. Deneme, 2025–2026 yılı sonbahar–kış döneminde Antalya ili Korkuteli ilçesinde tesadüf parselleri deneme desenine göre kontrol, kalsiyum, kalsiyum + bor, kalsiyum + mikrobiyal gübre ve kalsiyum + bor + mikrobiyal gübre olmak üzere beş uygulama ve üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Hasat öncesindeki son dört haftalık dönemde yapraklarda belirlenen klorofil içeriği (SPAD) ve elektrolit sızıntısı (EL) değerlerinin zamansal değişimleri incelenmiştir. SPAD değerleri bakımından uygulamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar belirlenmiş ve en yüksek klorofil içeriği yalnızca kalsiyum uygulamasında elde edilmiştir. Elektrolit sızıntısı değerleri ise uygulamalara bağlı olarak değişmiş, en yüksek değerler kontrol uygulamasında belirlenmiştir. Hasat döneminde değerlendirilen büyüme ve verim parametreleri bakımından uygulamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar saptanmıştır. En yüksek yumru ağırlığı (73.58 g) ve yumru boyu (55.09 mm) değerleri, kalsiyum, bor ve mikrobiyal gübre kombinasyonunun birlikte uygulandığı konudan elde edilmiştir. Sonuç olarak, kombine gübre uygulamalarının verim parametrelerini önemli ölçüde artırdığı, klorofil içeriği üzerinde kalsiyumun belirleyici olduğu ve besin uygulamalarının membran stabilitesini iyileştirerek elektrolit sızıntısını azalttığı ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: *Raphanus sativus* L.; Bitki besleme, Besin elementi etkileşimi; Klorofil içeriği, Elektrolit sızıntısı; Membran stabilitesi





Microbial Phytase as a Strategy to Improve Phytate Degradation and Mineral Utilization in Equine Nutrition

Qurat ul ain Sajid^{1,*}, Muhammad Umair Asghar¹, Barbara Król¹, and
Mariusz Korczyński¹

¹Wrocław University of Environmental and Life Sciences, Faculty of Biology and Animal Sciences, Department of Animal Nutrition and Feed Science, 51-630, Wrocław, Poland

Abstract

Ensuring efficient mineral absorption remains a persistent challenge in equine nutrition due to the limited capacity of horses to degrade phytate-bound nutrients in plant-based feeds. Recent interest in enzyme-based supplementation highlights microbial phytase as a promising tool to enhance the release of phytate-complexed minerals. This study examines the concept of super-dosing phytase supplementing the enzyme at levels substantially above conventional doses as a strategy to maximize phytate hydrolysis and improve mineral availability in the equine digestive tract. Elevated phytase activity may promote earlier and more extensive degradation of phytate, supporting improved phosphorus and calcium absorption and increasing the bio accessibility of key trace elements. Furthermore, reducing intact phytate may alleviate its inhibitory effects on digestive efficiency, potentially improving protein and carbohydrate utilization. Enhanced mineral uptake resulting from super-dosing could also contribute to lower faecal mineral output, supporting more sustainable nutrient management in equine production systems. Collectively, these insights suggest that phytase super-dosing represents a promising nutritional approach for optimizing mineral efficiency and mitigating environmental losses in horses.

Key Words: *Microbial phytase, super-dosing, equine nutrition, mineral utilization, phytate hydrolysis, phosphorus availability, enzyme supplementation.*





Artificial Intelligence Applications in Sustainable Agriculture

Burak Şen¹

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Tarım Bil. ve Tek. Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği, Niğde, Türkiye

Abstract

The integration of artificial intelligence (AI) into agriculture has emerged as a transformative approach to addressing global challenges such as food security, climate change, and resource scarcity. This study explores the role of AI-driven technologies in enhancing agricultural productivity, efficiency, and sustainability. By leveraging machine learning algorithms, remote sensing, and data analytics, modern farming systems can optimize irrigation, fertilization, pest control, and crop monitoring processes. AI-based decision support systems enable farmers to make data-driven decisions by analyzing real-time environmental and soil conditions. Precision agriculture techniques, supported by AI, contribute to reducing input costs while increasing yield and minimizing environmental impact. Furthermore, predictive models help anticipate weather patterns, disease outbreaks, and crop performance, allowing proactive management strategies. The paper also examines the adoption barriers of AI technologies in agriculture, including high implementation costs, lack of technical expertise, and data accessibility issues. Despite these challenges, ongoing advancements in digital infrastructure and increasing awareness among stakeholders are accelerating AI adoption in rural and developing regions. In conclusion, AI presents significant opportunities for transforming traditional agricultural practices into more efficient and sustainable systems. Future research should focus on developing accessible, cost-effective AI solutions tailored to small-scale farmers, ensuring equitable benefits across the agricultural sector. The integration of AI with interdisciplinary approaches will play a crucial role in shaping the future of global food systems.

Key Words: Artificial Intelligence, Precision Agriculture, Decision Support Systems, Machine Learning, Sustainable Agriculture.





Age-related behavioral activity and welfare status in broilers with different growth profiles

Kadir Erensoy¹, Musa Sarıca¹, Mehmet Akif Boz², Hatice Çavdarıcı³

¹ Ondokuz Mayıs University, Agricultural Faculty, Department of Animal Science, 55139 Atakum, Samsun, Türkiye

² Yozgat Bozok University, Agricultural Faculty, Department of Animal Science, 66900 Yozgat, Türkiye

³ Ondokuz Mayıs University, Ladik Vocational School, 55760 Ladik, Samsun, Türkiye

Abstract

This study was designed to determine the age-related behavioral patterns exhibited by different broiler genotypes with different growth profiles (A1, ANADOLU-T dam line: 61.6 g/day; A2, ANADOLU-T dam line: 59.2 g/day; B2, ANADOLU-T sire line: 70.1 g/day; ROSS-308, hybrid: 75.2 g/day) throughout the growth period (2-6 weeks) and to reveal the phenotypic correlations between behavioral and welfare traits (foot-pad dermatitis: FPD, hock burn: HB, breast burn: BB, finger crookedness: FC, valgus-varus deformity: VVD). The BW was higher in ROSS-308 at all ages, reaching 2587 g, 2486 g, 2944 g, and 3158 g at 6 weeks for the A1, A2, B2, and ROSS-308 genotype, respectively ($P<0.001$). While the effect of genotype remained limited on main time budget components such as resting ($P=0.2067$) and locomotion ($P=0.5996$), significant differences were observed in standing ($P<0.001$), drinking ($P<0.001$), and foraging ($P=0.0209$). As age progressed, active behaviors decreased across all genotypes, while inactive behaviors reached levels of 85-90% by the 6th week. Time of day influenced behavioral patterns; inactivity increased during evening hours, whereas comfort and active behaviors decreased. Regarding welfare status, distinct differences were observed among genotypes in the prevalence of FPD ($P=0.0013$), HB ($P=0.0141$), and BB ($P<0.001$). Contact dermatitis scores were higher in the ROSS308 and B2 genotypes (HB Score 1: 80.0% and 75.5%, respectively). Correlation analyses revealed significant negative weekly relationships between active behaviors and both HB and total welfare scores, while positive relationships were found with inactive behaviors (as scores increased, activity levels decreased). In conclusion, although the behavioral repertoires of the broiler genotypes exhibited similar trends with advancing age, high body weight, and genetic profile were found to be decisive risk factors for welfare indicators such as contact dermatitis rather than behavioral activity.

Key Words: Broiler chicken, genotype, behavioral traits, body weight, welfare, body defects





Assessment of River Floodplains in Sinop Province under Climate Change Scenarios: The Case of Merkez, Gerze and Dikmen Districts

Bekir TAŞTAN^{1*}

¹Kastamonu University, Faculty of Humanities and Social Sciences, Department of Geography, 37150 Kuzeykent, Kastamonu

Abstract

A fluvial flood is an event where a river overflows its banks, inundating surrounding areas. Fluvial floods occur as a result of excessive rainfall. The development of settlements along riverbeds leads to loss of life and property, submerging agricultural lands, and causing infrastructure damage. To protect against floods, it is crucial to understand the characteristics of people and property that may be exposed to flooding and to determine their vulnerability. This study identifies potential flood spread areas in the densely populated and tourism-prone districts of Sinop province, specifically in the Merkez and Gerze districts, and the Dikmen district, which experienced a flood in 2013, as a result of climate change. The FastFlood software, capable of two-dimensional hydrodynamic modeling, was used to determine flood spread. The impact of climate change on future precipitation amounts has been determined within the framework of Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) scenarios, based on recurrence intervals of 5, 10, 25, and 50 years, and flood spread areas and flood level heights for 2030, 2050, and 2080 have been determined. According to the results of the study, it is predicted that increased flood flows in densely populated areas may pose risks to people and property. It is believed that the developed flood spread model can be used by local governments in decision-making support mechanisms and can play an effective role in disaster management.

Key Words: *Climate Change, Fluvial Flood, Geographic Information Systems, Hydrodynamic Modeling, FastFlood Program, Sinop*

İklim Değişikliği Senaryoları Altında Sinop İli'nde Akarsu Taşkın Alanlarının Değerlendirilmesi: Merkez, Gerze Ve Dikmen İlçeleri Örneği

Özet

Taşkın afeti akarsuyun yatağının dışına çıkıp çevrede bulunan yerleri sular altında bırakmasıyla gerçekleşen olaya denmektedir. Taşkınlar aşırı yağışların sonucunda ortaya çıkarlar. Akarsu yataklarının yerleşime açılarak taşkınların buraları etkilemesiyle can ve mal kayıpları oluşur, tarım arazileri sular altında kalır ve altyapı hasarları ortaya çıkar. Taşkınlardan korunmak için taşkına maruz kalabilecek olan insan ve mal varlıklarının niteliklerini bilmek ve maruziyet durumlarının ortaya konması önemlidir. Çalışma kapsamında Sinop ilinin fazla nüfuslu ve turizm bakımından önde olan Merkez ve Gerze ilçeleri ve 2013 yılında sel felaketine maruz kalan Dikmen ilçelerinde iklim değişimi kapsamında gelişebilecek taşkın yayılım alanları tespit edilmiştir. Taşkın yayılımının belirlenmesinde iki boyutlu hidrodinamik modelleme yapabilen FastFlood yazılımı kullanılmıştır. İklim değişikliğinin gelecekte yağış miktarlarına yapacağı etki SSPs (Shared Socioeconomic Pathways) senaryoları kapsamında 5,10, 25 ve 50 yıllık tekrarlar sürelerine bağlı olarak belirlenmiş ve 2030, 2050 ve 2080 yılları için taşkın yayılım alanları ve taşkın su seviyesi yükseklikleri ortaya konmuştur. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre nüfusun yoğunlaştığı alanlarda artan taşkın debilerinin insanlara ve mal varlıklarına risk oluşturabileceği öngörülmektedir. Geliştirilen taşkın yayılım modelinin yerel yönetimler tarafından karar destek mekanizmalarında kullanılabileceği ve afetlerle mücadelede etkin rol oynayabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: *İklim Değişikliği, Taşkın, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Hidrodinamik Modelleme, FastFlood Programı, Sinop*





GIS-Based Multi-Criteria Decision Making And Fuzzy Logic Approaches For Multi-Hazard Flood And Flash Flood Risk Exposure Assessment In Sinop Province, Türkiye

Bekir TAŞTAN^{1*}

¹Kastamonu University, Faculty of Humanities and Social Sciences, Department of Geography, 37150 Kuzeykent, Kastamonu

Abstract

A flood refers to the sudden and excessive rise in water levels in a riverbed due to excessive rainfall, while an inundation refers to the spread of water rising from the riverbed, inundating the surrounding area. The haphazard construction of housing in river basins to meet the needs of the growing population increases the number of people exposed to floods and inundations, while also causing greater property damage. In this study, the flood and inundation risk exposures of Sinop province, which has recently been exposed to flood and inundation disasters due to the effects of climate change, were determined using Geographic Information Systems (GIS), multi-criteria decision-making analyses, and Fuzzy Logic methods. Different parameters, such as slope, rainfall, distance from the river, aspect, and land use, were used to determine sensitivity values. Membership functions of the parameters were assigned according to the characteristics of the research area and the literature review. The overlay process was performed using the GAMMA and AND operators. Flood, inundation, and integrated flood and inundation risk exposure value maps were obtained from the research. Risk exposure values indicate areas with high, medium, and low susceptibility to flood hazards. It is observed that flood risk exposure is significantly increased in areas close to rivers and with low slopes. The high-risk category of settlements resulting from land use necessitates the implementation of preventative measures in these areas. According to the findings, flood risk exposure in Sinop province is not spatially homogeneous, but is concentrated in sloping and high-altitude areas, as well as in basin and valley bottoms.

Key Words: *Geographic Information Systems (GIS), Multi-criteria Decision Making Analyses, Fuzzy Logic, Flash and Fluvial Flood, Sinop Province*

CBS, Çok Kriterli Karar Verme Analizi Ve Bulanık Mantık Yöntemleriyle Sinop İlinde Sel Ve Taşkın Çoklu Afet Risk Maruziyet Analizi

Özet

Sel olayı aşırı yağışlarla beraber akarsu yatağındaki ani ve aşırı su seviyesinin yükselmesini belirtirken, taşkın olayı ise akarsu yatağından yükselen suyun çevresine yayılmasını ve sular altında bırakılmasını ifade eder. Akarsu havzalarında artan nüfusun ihtiyaçlarını gidermek amacıyla gelişigüzel biçimde yapılan meskenler sel ve taşkına maruz kalan insan sayısını artırırken, mal varlıklarının da daha fazla zarar görmesine sebep olmaktadır. Bu çalışmada son zamanlarda iklim değişikliğinin de etkisiyle sel ve taşkın afetlerine maruz kalan Sinop ilinin sel ve taşkın afetlerine karşı risk maruziyetleri Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), çok kriterli karar verme analizleri ve bulanık mantık yöntemleriyle tespit edilmiştir. Duyarlılık değerlerinin belirlenmesinde eğim, yağış, akarsuya uzaklığı, bakı ve arazi kullanımı gibi farklı parametreler kullanılmıştır. Parametrelerin üyelik fonksiyonları araştırma sahasının niteliklerine ve literatür araştırmasına göre atanmıştır. Çakıştırma işlemi ise GAMMA ve AND operatörleri vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Araştırmadan sel, taşkın ve bütünleşik sel ve taşkın risk maruziyet değerleri haritaları elde edilmiştir. Risk maruziyet değerleri sel ve taşkın tehlikesine karşı yüksek, orta ve düşük duyarlılık alanlarını belirtmektedir. Akarsuya yakın ve düşük eğimli alanlarda taşkın risk maruziyetinin belirgin biçimde arttığı gözlemlenmektedir. Arazi kullanımına bağlı olarak ortaya çıkan yerleşim alanlarının yüksek risk sınıfında yer alması, bu alanlarda önlem alınması ihtiyacını doğurmaktadır. Elde edilen bulgular, Sinop ilinde sel ve taşkın risk maruziyetinin mekânsal olarak homojen dağılmadığını, eğimli ve yüksek alanlarda havza ve vadi tabanlarında yoğunlaştığını belirtmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Çok Kriterli Karar Verme Analizleri, Bulanık Mantık, Ani Sel ve Flüvyal Taşkın, Sinop*





Effect of Roasting Methods and Microwave-Assisted Extraction on the Bioactive Compounds of Date Seeds

Hande Baltacıoğlu^{1*}, Gözde Doğanay¹

¹Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, 51240, Niğde, Turkey.

Abstract

In this study, phenolic compounds were extracted from unroasted and roasted date seeds by microwave-assisted (300, 450, 600, and 800W) method, and their changes were investigated. TPC values ranged from 6628.89 to 9763.29 mg GAE/100 g dry weight. DPPH inhibition values ranged from 44.78% to 58.17%, with the highest antioxidant activity observed in the traditional roasting samples extracted at 800 W for 2 min. Generally, unroasted samples gave higher TPC results than traditional and microwave roasting. On the other hand, traditional roasting samples gave higher antioxidant activity results. HPLC analysis showed that rutin was the predominant phenolic compound in unroasted date seeds. Gallic acid and 3,4-dihydroxybenzoic acid became detectable after roasting and reached their highest concentrations in traditional roasting samples. PCA, as a multivariate analysis, was a successful method for the classification of the unroasted, traditional roasting, and microwave-roasting samples based on TPC and antioxidant activity.

Key Words: Date seed, Microwave extraction, Roasting methods, TPC, Antioxidant activity

Introduction

Date palm (*Phoenix dactylifera* L.) is an important crop widely cultivated in arid and semi-arid regions. Date palm cultivation has traditionally extended across a broad geographical region, from Morocco to Egypt in North Africa, throughout the Arabian Peninsula, into Iraq and Iran in the Middle East, and as far as Pakistan in South Asia (Flowers et al., 2019). Date seeds account for approximately 13–15% of the total fruit weight. During date processing, the seeds are commonly removed and discarded, resulting in considerable waste. While date seeds are commonly used in animal feeding, recent research has indicated that their bioactive compounds may also provide health-promoting properties (Al Harthi et al., 2015). Date seeds contain important nutritional components, including dietary fiber, minerals, vitamins, fatty acids, and amino acids. They are also considered a valuable source of bioactive compounds, such as carotenoids, polyphenols, flavonoids, and tocopherols (Zarie et al., 2023). Roasting is an important thermal treatment in the production of coffee-like beverages from date seeds. During roasting, Maillard reactions, caramelization, and pyrolysis contribute to the development of characteristic color, aroma, and flavor while also altering the physicochemical and bioactive properties of the seeds (Shi et al., 2025). Fikry et al. (2019) reported that roasting temperature and time significantly affected the total phenolic content, antioxidant activity, color, and sensory properties of date seed beverages. In their study, date seeds were roasted at 160, 180, and 200 °C for 10–30 min, and the optimum conditions were determined as approximately 200 °C for 21.5 min. Similarly, Halabi et al. (2024) found that roasting conditions ranging from 160 to 200 °C and 15 to 45 min influenced phenolic compounds and antioxidant activity. Microwave-assisted extraction (MAE) has emerged as a sustainable alternative to conventional extraction methods. It enables rapid processing, reduces solvent consumption, and improves extraction efficiency and extract quality (Melikoğlu, 2025). Microwave-assisted extraction (MAE) uses electromagnetic waves in the frequency range of 300 MHz to 300 GHz to heat the sample matrix. The applied electric field induces the movement of ionic species, promoting solvent penetration into the matrix and facilitating the release and dissolution of target compounds (Baltacıoğlu et al., 2019). In this study, unroasted and roasted date seeds were subjected to microwave-assisted extraction at 300, 450, 600, and 800 W for 2 min. The effects of roasting method and microwave extraction power on total phenolic content and DPPH radical-scavenging activity were evaluated. Individual phenolic compounds were identified and quantified by HPLC. Principal component analysis was also performed to examine the relationships between total phenolic content and antioxidant activity and to distinguish the different roasting treatments.





Materials and Methods

The date seeds were obtained from a local market and stored at 4 °C before processing.

Methods

Roasting

100 g of date seeds were weighed for each roasting process. The date seeds were heated in an oven at 180 °C for 20 minutes in the traditional roasting method. The microwave roasting process was carried out in a household microwave oven (Samsung MS23K3515AW) at a power of 300 W for 12 minutes. Unroasted seeds were used as control. Date seeds were ground with a grinder (HC100, Lavion, Türkiye) and passed from a 250 µm sieve.

Microwave-assisted extraction

For each treatment, 5 g of unroasted or roasted date seed sample was weighed. The final volume was adjusted to 100 mL with 80% methanol containing 1% HCl. Microwave-assisted extraction was performed at four different power levels (300, 450, 600, and 800 W) for 2 min. After extraction, any volume loss due to evaporation was compensated by readjusting the final volume to 100 mL. The extracts were centrifuged at 5000 rpm for 20 min and then filtered.

Total phenolic content (TPC)

The TPC of the extracts was analyzed according to the Folin–Ciocalteu method. The results were expressed as gallic acid equivalents mg GAE/100 g dry weight (Baltacıoğlu et al., 2024). Briefly, 0.1 mL of extract was mixed with 0.75 mL of 10% Folin–Ciocalteu reagent. After 5 min of incubation, 0.75 mL of sodium carbonate solution (75 g/L) was added to the mixture. After vortexing, the mixture was kept in the dark at room temperature for 60 min, and the absorbance was recorded at 725 nm.

Antioxidant activity (AA)

Antioxidant activity was determined using the DPPH radical scavenging assay. Briefly, 0.1 mL of extract was mixed with 3.9 mL of 0.1 mM DPPH solution prepared in 80% methanol. After vortexing, the mixture was incubated in the dark at room temperature for 30 min. The absorbance was then measured at 517 nm. For the control, 0.1 mL of 80% methanol was used instead of the extract. Antioxidant activity was calculated by Equation (1) as inhibition (%) Okur et al. (2019) .

$$\% \text{ inhibition} = \frac{A_c - A_s}{A_c} \times 100 \quad (1)$$

A_c = Control of the absorbance

A_s = Samples of the absorbance

Determination of phenolic compounds by HPLC

Phenolic compounds were determined by HPLC according to Okur et al. (2019) with slight modifications. The extracts of unroasted, traditionally roasted, and microwave-roasted samples were filtered through a 0.45 µm PTFE membrane filter before injection. Then, 20 µL of the filtered extracts were injected into the HPLC (Shimadzu Corporation, Kyoto Japan) with the SIL 10AD vp automatic sampling system. The HPLC system had a pump (LC10ADvp), degasser (DGU-14A), control oven (CTO10Avp), and a UV-VIS detector. Polyphenols were separated using a C18 column (GL Sciences, 250x4.60 mm, 5 microns, Japan). The column temperature was 30 °C. The separation was done by applying a gradient program with a binary solvent system. The mobile phases were 5% formic acid (A) and 20% A + 80% ACN (B). The flow rate was 1.0 mL/min. Phenolic compounds were carried out at 320 nm. The gradient program for phenolic compounds was applied as follows: 0–0.01 min: A 100%; 15 min: 90% A + 10% B; 90.00 min: 60% A + 40% B; 93.00 min: 100% B; 98 min: 100% A.

Multivariate analysis

Principal component analysis (PCA) was used to differentiate unroasted and roasted samples, and the results were presented as a score plot. PCA was performed using Minitab 19 (State College, PA, USA). The TPC and antioxidant activity of the samples were chosen as variables (Baltacıoğlu et al., 2024).

Statistical analysis

The Minitab (19.1.0.0, State College, PA, USA) was applied for the statistical analysis of the results. One-way ANOVA (analysis of variance) and Tukey's multiple range test were employed to determine the statistical differences.

Results

Roasted and unroasted samples were subjected to microwave-assisted extraction under different parameters. Total phenolic compounds (TPC) and antioxidant activity were determined in the extracts. The total phenolic content of the unroasted and roasted samples was shown in Table 1. The TPC values ranged from 6628.89 to 9763.29 mg GAE/100 g dry weight depending on the roasting method and microwave extraction treatment. The





highest TPC was determined in the unroasted samples extracted at 300 W for 2 min ($p < 0.05$), followed by the unroasted sample extracted at 800 W. In microwave-roasting samples, the TPC values showed no statistically significant differences between the 300 and 450 W, or 600 and 800 W, extraction treatments ($p > 0.05$). However, extraction at 600 and 800 W resulted in higher TPC values than extraction at 300 and 450 W in MW-roasting samples. Generally, high TPC values were observed at 800 W across the roasting treatments. Accordingly, higher microwave power may improve solvent penetration and promote the release of extractable phenolic compounds from the roasted seed matrix. Generally, MW-roasting samples showed lower TPC values than unroasted and traditional roasting samples.

Table 1. The TPC of unroasted and roasted samples extracted with different MW treatment

Treatment	TPC (mg GAE / 100g dry weight)		
	Unroasted	Traditional Roasting	MW Roasting
300W-2 minutes	9763,29 $\pm$ 435,98 ^a	8117,84 $\pm$ 83,70 ^{e,f}	6903,84 $\pm$ 234,98 ^g
450 W-2 minutes	9065,99 $\pm$ 296,93 ^{b,c,d}	8566,68 $\pm$ 51,97 ^{d,e}	6628,89 $\pm$ 28,46 ^g
600W-2 minutes	7127,75 $\pm$ 81,72 ^g	8915,66 $\pm$ 19,52 ^{c,d}	7878,52 $\pm$ 45,36 ^f
800 W-2 minutes	9506,98 $\pm$ 39,29 ^{a,b}	9372,35 $\pm$ 212,24 ^{a,b,c}	7993,97 $\pm$ 107,30 ^f

Values are expressed as mean $\pm$ standard deviation. Means that do not share a common superscript letter are significantly different according to Tukey's test ($p < 0.05$).

Table 2. The antioxidant activity of unroasted and roasted samples extracted with MW treatment

Treatment	% inhibition		
	Unroasted	Traditional Roasting	MW Roasting
300W-2 minutes	56,70 $\pm$ 0,90 ^{a,b}	54,90 $\pm$ 2,00 ^{b,c}	44,78 $\pm$ 2,16 ^g
450 W-2 minutes	50,48 $\pm$ 0,42 ^{d,e}	54,59 $\pm$ 1,47 ^{b,c}	51,26 $\pm$ 0,90 ^{d,e}
600W-2 minutes	50,10 $\pm$ 0,07 ^{d,e}	55,26 $\pm$ 0,05 ^{a,b,c}	46,41 $\pm$ 1,00 ^f
800 W-2 minutes	48,89 $\pm$ 0,42 ^{e,f}	58,17 $\pm$ 0,42 ^a	52,68 $\pm$ 0,42 ^{c,d}

Values are expressed as mean $\pm$ standard deviation. Means that do not share a common superscript letter are significantly different according to Tukey's test ($p < 0.05$).

Table3. Phenolic compounds and their amounts in roasted and unroasted samples

	Gallic acid (mg/kg)	3,4-Dihydroxybenzoic acid (mg/kg)	Caffeic acid (mg/kg)	p-coumaric acid (mg/kg)	Rutin (mg/kg)
Unroasted	ND	ND	72,44 $\pm$ 4,33	20,99 $\pm$ 0,55 ^a	270,38 $\pm$ 8,19 ^a
Traditional Roasting	9394,42 $\pm$ 92,70 ^a	1821,06 $\pm$ 58,53 ^a	ND	18,55 $\pm$ 1,81 ^b	ND
MW Roasting	5135,45 $\pm$ 113,86 ^b	779,0567 $\pm$ 34,49 ^b	ND	15,43 $\pm$ 0,33 ^c	53,91 $\pm$ 11,72 ^b

ND: Not detected; Different letters (a, b, c) in the same column indicated a significant difference between the treatments

The AA of the unroasted and roasted samples was shown in Table 2. The antioxidant activity ranged from 44.78% to 58.17% depending on the roasting method and microwave extraction treatment. The highest antioxidant activity was observed in the traditional roasting sample extracted at 800 W for 2 min, while the lowest value was determined in the MW-roasting sample extracted at 300 W for 2 min. In unroasted samples, antioxidant activity tended to decrease as the microwave extraction power increased. In unroasted samples, antioxidant activity tended to decrease as the microwave extraction power increased. In contrast, traditional roasting samples generally showed higher antioxidant activity, with the maximum value obtained at 800 W. Additionally, MW-roasting samples exhibited lower antioxidant activity than traditional roasting samples.

The phenolic compounds and their amounts detected in date seed samples, extracted at 800 W for 2 min, were shown in Table 3. HPLC chromatograms of roasted and unroasted samples of date seed was shown in Figure 1. As shown in Table 3, caffeic acid, p-coumaric acid, and rutin were identified in unroasted date seeds, whereas gallic acid and 3,4-dihydroxybenzoic acid were additionally detected in roasted samples. These results indicate that roasting significantly influenced the phenolic composition of date seeds ($p < 0.05$). The roasting process enables the release of phenolic compounds in the structure. Their highest concentrations were observed in the traditional roasting samples, reaching 9394.42 and 1821.06 mg/kg, respectively. On the other hand, roasting caused a decrease in the amount of p-coumaric acid and rutin compounds. MW-roasting was less effective than traditional roasting in terms of the release of bound phenolic compounds in the structure. Rutin was the predominant phenolic compound in unroasted date seed samples.

As shown in the PCA score plot, the first two principal components explained 100% of the total variance, with PC1 accounting for 51.1% and PC2 for 48.9%. Traditional roasting samples were located on the positive side of PC1, indicating relatively high combined total phenolic content and antioxidant activity. According to PC2, the unroasted samples were separated from both traditional roasting and MW-roasting samples. The close clustering of the replicates within each treatment indicated good repeatability of the measurements.



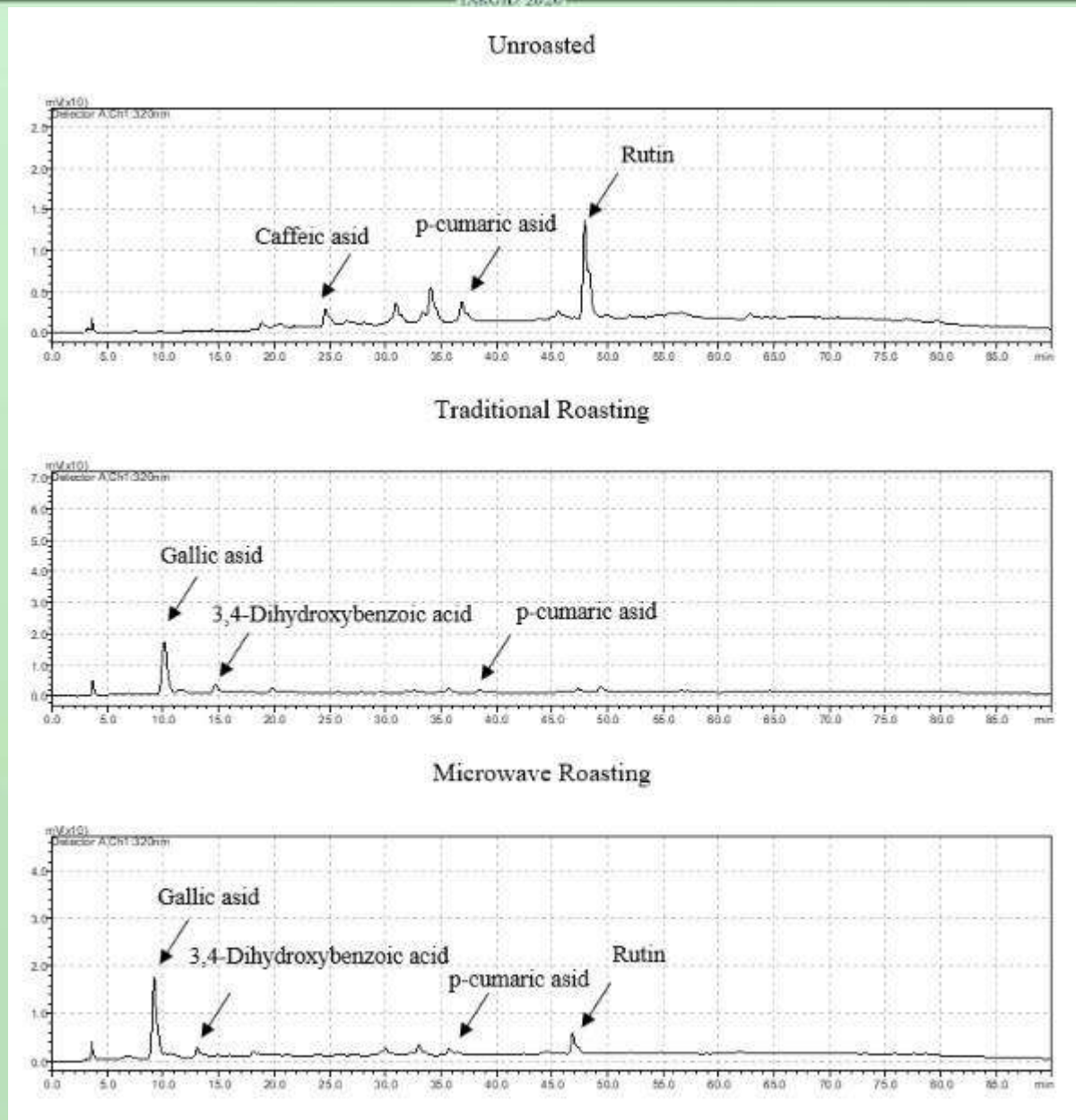


Figure 1. HPLC chromatogram of roasted and unroasted samples of date seed at 320 nm

Discussion

The total phenolic content was influenced by both the roasting method and microwave extraction power. In the present study, TPC values ranged from 6629 to 9763 mg GAE/100g dry weight, which were higher than the range of 33.4–58.9 mg GAE/g. Khalfi et al. (2024) determined that microwave-assisted extraction performed at 1200 W under varying process conditions resulted in total phenolic contents ranging from 33.4 to 58.9 mg GAE/g dry powder.

Ranasinghe et al. (2024) reported that the total phenolic content of defatted date seed powder reached 15.88 mg GAE/g DSP under optimized microwave-assisted extraction conditions. In this study, traditional roasting samples generally exhibited higher TPC values than MW-roasting samples. Likewise, Fikry et al. (2019) observed an increase in TPC during conventional oven roasting and associated this increase with structural changes in the seed matrix and the formation of Maillard reaction products. In contrast, Doğanay and Baltacıoğlu (2025) reported that microwave roasting at 300 W for 12 min resulted in a higher total phenolic content than traditional roasting. The lower TPC values in microwave-roasted samples may be related to the degradation of heat-sensitive phenolic compounds during microwave heating (Vicente-Zurdo et al., 2025).



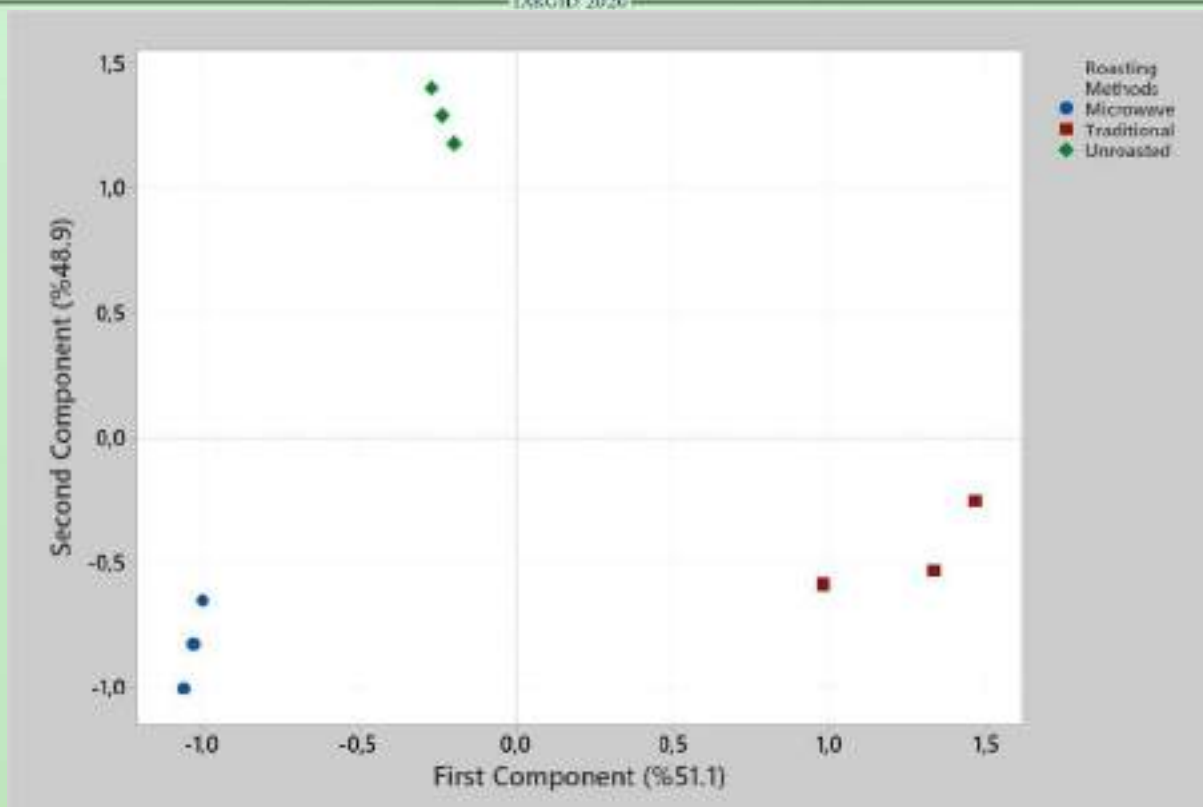


Figure 2. Score plot of two components for the effect of different roasting methods on the extraction of date seeds.

Antioxidant activity was affected by both the roasting method and microwave extraction power. In the present study, DPPH inhibition values ranged from 44.78% to 58.17%. The highest antioxidant activity was obtained from the traditional roasting samples extracted at 800 W for 2 min. Doğanay and Baltacıoğlu (2025) also found that traditional roasting date seeds exhibited the highest antioxidant activity among the roasting treatments. These results associated with structural changes in the seed matrix and the formation of antioxidant Maillard reaction products during roasting. Fikry et al. (2019) reported that the DPPH radical-scavenging activity of date seed brews increased from approximately 40% to 81% as roasting temperature and time increased. This improvement was attributed to antioxidant Maillard reaction products, particularly melanoidins, formed during roasting. Additionally, the lower values observed in some MW-roasting samples may indicate that rapid heating affected thermostable antioxidant compounds. Additionally, antioxidant capacity may depend not only on the total amount of phenolics but also on the types of phenolic compounds and on roasting-induced reaction products.

The phenolic acids identified in date seeds include p-hydroxybenzoic acid, protocatechuic acid, m-coumaric acid, gallic acid, vanillic acid, caffeic acid, p-coumaric acid, ferulic acid, and o-coumaric acid. Among these compounds, p-hydroxybenzoic acid, protocatechuic acid, and m-coumaric acid were reported as the predominant phenolic acids (Can, 2024). Radfar et al. (2019) reported that phenolic acids, particularly cinnamic, chlorogenic, and caffeic acids, were predominant in Iranian date palm seeds regardless of cultivar. In contrast, Babiker et al. (2020) identified hydroxybenzoic acids as the major phenolic acids in both unroasted and roasted date seeds. Previous studies have suggested that roasting may facilitate the release of polyphenols bound to cellular components (Abdel-Karim et al. 2024). In the present study, rutin was the predominant phenolic compound in unroasted date seeds, whereas gallic acid and 3,4-dihydroxybenzoic acid became detectable after roasting. The roasting process enables the release of phenolic compounds in the structure.

PCA was performed using the TPC and antioxidant activity data of samples extracted at 800 W for 2 min. The PCA results confirmed that the roasting method caused distinct changes in the phenolic and antioxidant characteristics of date seed extracts obtained at 800 W for 2 min. Similarly, Doğanay and Baltacıoğlu (2025) showed that PCA differentiated unroasted, traditional roasting, and MW-roasting date seed samples based on their bioactive compound profiles and antioxidant activities. Similarly, Halabi et al. (2024) observed a positive relationship between phenolic compounds and antioxidant activity in roasted date seed extracts.

Conclusion





This study shows that the phenolic and antioxidant properties of date seeds were influenced by both the roasting method and microwave-assisted extraction power. The highest TPC value was obtained from the unroasted samples extracted at 300 W, whereas the highest antioxidant activity was observed in the traditional roasting samples extracted at 800 W. Traditional roasting samples also contained the highest concentrations of gallic acid and 3,4-dihydroxybenzoic acid. In contrast, rutin was the predominant phenolic compound in unroasted date seeds, and its concentration decreased after roasting. MW-roasting samples generally showed lower TPC and antioxidant activity than the other treatments. PCA further confirmed the differentiation of the samples according to roasting treatment.

Declarations

Author Contribution Statement

Gözde Doğanay: Data collection, investigation, formal analysis, and writing the original draft

Hande Baltacıoğlu: Project administration, supervision, conceptualization, methodology, review and editing

Fund Statement

This research has been funded by the Scientific Research Projects Coordination Unit of Niğde Ömer Halisdemir University. Project Number: TGT 2023/14- LÜTEP.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Abd-Elkarim, N. A., Abdrabou, E. A., & Osman, A. A. (2024). Influence of roasting and microwave heating on nutritional value and bioactive compounds of Siwi date seed. *Egyptian Journal of Food Science*, 52(1), 123–137. <https://doi.org/10.21608/ejfs.2024.223982.1190>
- Al Harthi, S. S., Mavazhe, A., Al Mahroqi, H., & Khan, S. A. (2015). Quantification of phenolic compounds, evaluation of physicochemical properties and antioxidant activity of four date (*Phoenix dactylifera* L.) varieties of Oman. *Journal of Taibah University Medical Sciences*, 10(3), 346–352. <https://doi.org/10.1016/j.jtumed.2014.12.006>
- Babiker, E. E., Atasoy, G., Özcan, M. M., Al Juhaimi, F., Ghafoor, K., Mohamed Ahmed, I. A., & Almusallam, I. A. (2020). Bioactive compounds, minerals, fatty acids, color, and sensory profile of roasted date (*Phoenix dactylifera* L.) seed. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(7), e14495. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14495>
- Baltacıoğlu, H., Şahin, E. M., & Karadağ, E. D. (2019). Extraction of phenolic compounds from peach pomace by microwave and ultrasound assisted extraction. *Niğde Ömer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences*, 8(2), 875–881. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.570250>
- Can, N. (2024). Date seed as a functional food ingredient. *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 19(70), 129–147. https://doi.org/10.17932/IAU.ABMYOD.2006.005/abmyod_v19i70002
- Baltacıoğlu, C., Baltacıoğlu, H., Okur, İ., Yetişen, M., & Alpas, H. (2024). Recovery of phenolic compounds from peach pomace using conventional solvent extraction and different emerging techniques. *Journal of Food Science*, 89(3), 1672–1683. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16972>
- Doğanay, G., & Baltacıoğlu, H. (2025). Effect of microwave roasting and different solvents on the extraction of bioactive compounds from date seed. *Eurasian Journal of Science Engineering and Technology*, 6(1), 41–46. <https://doi.org/10.55696/ejset.1622241>
- Fikry, M., Yusof, Y. A., Al-Awaadh, A. M., Abdul Rahman, R., Chin, N. L., & Mohd Ghazali, H. (2019). Antioxidative and quality properties of full-fat date seeds brew as influenced by the roasting conditions. *Antioxidants*, 8(7), 226. <https://doi.org/10.3390/antiox8070226>
- Halabi, Y., Nasri, C., El Guezane, C., Harhar, H., Gharby, S., Zarrouk, A., Bellaouchou, A., & Tabyaoui, M. (2024). Optimized roasting parameters of full-fat date palm seed (*Phoenix dactylifera* L.) using a central composite design and chemometric approach to prepare antioxidant-rich beverage. *Letters in Applied NanoBioScience*, 13(3), 113. <https://doi.org/10.33263/LIANBS133.113>
- Flowers, J. M., Hazzouri, K. M., Gros-Balthazard, M., Mo, Z., Koutroumpa, K., Perrakis, A., Ferrand, S., Khierallah, H. S. M., Fuller, D. Q., Aberlenc, F., Fournaraki, C., & Purugganan, M. D. (2019). Cross-species hybridization and the origin of North African date palms. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(5), 1651–1658. <https://doi.org/10.1073/pnas.1817453116>
- Khalfi, A., Garrigós, M. C., Ramos, M., & Jiménez, A. (2024). Optimization of the microwave-assisted extraction conditions for phenolic compounds from date seeds. *Foods*, 13(23), 3771. <https://doi.org/10.3390/foods13233771>
- Melikoglu, M. (2025). Microwave-assisted extraction: Recent advances in optimization, synergistic approaches, and applications for green chemistry. *Sustainable Chemistry for Climate Action*, 7, 100122. <https://doi.org/10.1016/j.scca.2025.100122>
- Radfar, R., Farhoodi, M., Ghasemi, I., Mousavi Khaneghah, A., Shahraz, F., & Hosseini, H. (2019). Assessment of phenolic contents and antioxidant and antibacterial activities of extracts from four varieties of Iranian date palm (*Phoenix dactylifera* L.) seeds. *Applied Food Biotechnology*, 6(3), 173–184. <https://doi.org/10.22037/afb.v6i3.23379>





- Ranasinghe, M., Sivapragasam, N., Mostafa, H., Airouyuwa, J. O., Manikas, I., Sundarakani, B., Maqsood, S., & Stathopoulos, C. (2024). Valorizing date seeds in biscuits: A novel approach to incorporate bioactive components extracted from date seeds using microwave-assisted extraction. *Resources, Environment and Sustainability*, 15, 100147. <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2023.100147>
- Shi, L., Wu, H., Ghafoor, K., Gonzalez Viejo, C., Fuentes, S., Ahmadi, F., & Suleria, H. A. R. (2025). Impacts of roasting intensity and cultivar on date seed beverage quality traits and volatile compounds using digital technologies. *Foods*, 14(22), 3902. <https://doi.org/10.3390/foods14223902>
- Vicente-Zurdo, D., Gómez-Mejía, E., Morante-Zarcero, S., Rosales-Conrado, N., & Sierra, I. (2025). Analytical strategies for green extraction, characterization, and bioactive evaluation of polyphenols, tocopherols, carotenoids, and fatty acids in agri-food bio-residues. *Molecules*, 30(6), 1326. <https://doi.org/10.3390/molecules30061326>
- Zarie, A. A., Hassan, A. B., Alshammari, G. M., Yahya, M. A., & Osman, M. A. (2023). Date industry by-product: Date seeds (*Phoenix dactylifera* L.) as potential natural sources of bioactive and antioxidant compounds. *Applied Sciences*, 13(21), 11922. <https://doi.org/10.3390/app132111922>





Multivariate Evalutaion of Physicochemical Properties of Functional Vegetable Powders

İkbal Abdullah Şahin¹, Hande Baltacıoğlu^{1*}, Hasan Tangüler¹

¹Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, 51240, Niğde, Turkey.

Abstract

This study focuses on the development and characterization of functional vegetable powders obtained from freeze-dried red and purple vegetables. Due to their high content of bioactive compounds such as phenolics, flavonoids, and anthocyanins, vegetables like black carrot, red cabbage, red beetroot, and waste from fermented black carrot have attracted increasing attention as potential functional food ingredients. In this research, selected vegetables were freeze-dried, ground into powder form, and analyzed for their bioactive properties. Total phenolic content ranged from 16,012.02 to 44,001.09 mg GAE/kg, with the highest values observed in red cabbage (44,001.09 mg GAE/kg) and black carrot (40,460.11 mg GAE/kg). Antioxidant activity, determined by the DPPH assay, ranged from 22.88% to 51.84% inhibition, with black carrot (51.84%) and red cabbage (51.20%) showing the strongest activity. Total monomeric anthocyanin content ranged from 54.27 to 1,873.20 mg Cy3G/100 g, with the highest level detected in red cabbage samples. Principal Component Analysis (PCA) was used to evaluate differences and establish relationships between chemical composition and functional properties. Overall, the findings demonstrate that freeze-dried vegetable powders are promising natural sources of bioactive compounds and can be used to develop functional food formulations. The study also highlights the potential of valorizing vegetable-based materials, including waste-derived sources, to enhance sustainability and nutritional quality.

Key Words: Antioxidant activity, Anthocyanins, PCA, Total Phenolic Content, Black carrot, Red cabbage, Red Beetroot

Introduction

Consumer demand for natural, pigment-rich, and health-promoting food ingredients has increased interest in vegetable powders obtained from anthocyanin- and betalain-rich raw materials such as red cabbage, black carrot, and beetroot. These vegetables are valued not only for their intense coloring properties but also for their phenolic compounds and antioxidant capacity, which are associated with protective effects against oxidative stress-related diseases (Todorovic et al., 2026). Black carrots get their color from the high amount of pigments called anthocyanins (45.4–17.4 g/kg dry matter) (Dereli et al., 2015). The distinctive red color of beetroots comes from betalain pigments such as betanin and betacyanin (Clifford et al., 2015). In the anthocyanin profiles of red cabbage, acylated structures of cyanidin-3,5-diglucoside and cyanidin-3-sophoroside-5-glucoside with sinapic acid, ferulic acid, caffeic acid, p-coumaric acid, and malonic acid are commonly found (Ghareaghajlou et al., 2021).

Freeze-drying is generally regarded as one of the most suitable dehydration methods for heat-sensitive pigments and bioactive compounds, since the sublimation of ice at low temperature largely preserves the structure, color, and phytochemical content of the raw material compared with conventional hot-air drying. Red cabbage is a particularly rich source of acylated anthocyanins and phenolic compounds, and the processing method has repeatedly been shown to strongly influence its anthocyanin retention and antioxidant activity (Tan et al., 2023). Encapsulation and drying method significantly affected the physicochemical properties, antioxidant capacity, anthocyanin content, and stability of red cabbage powder colorants, with freeze drying and encapsulation providing the best overall preservation (Baltacıoğlu et al., 2024). Black carrot (*Daucus carota* ssp. sativus) is similarly recognized as a major natural source of cyanidin-based anthocyanins, and fermentation of black carrot materials with lactic acid bacteria has been reported to alter titratable acidity, phenolic acid composition, and antioxidant capacity, reflecting substantial biochemical transformation of the matrix during fermentation (Uzun et al., 2024). In recent years, turnip juice production and consumption have increased in Türkiye, and fermented black carrots, which are leftovers from turnip juice production, have been utilized in many different food products such as Turkish noodles, tarhana, and biscuits due to their high bioactive compounds (Baltacıoğlu et al., 2019; Tanguler and Tatlısoy, 2022; Ozer et al., 2024). The drying method significantly affects the antioxidant activity of black carrot powder. In a study that used different methods for producing black carrot powder, freeze-dried black carrot powder was reported to have the highest antioxidant activity (Murali et al., 2015). Beetroot (*Beta vulgaris* L.), in contrast, owes its characteristic color to betalain pigments rather than anthocyanins, and its phenolic content, color parameters, and mineral (ash) content are strongly influenced by both cultivar and processing conditions (Tarasevičienė et al., 2024).





Despite extensive individual studies on these vegetables, comparative data evaluating freeze-dried red cabbage, beetroot, black carrot, and fermented black carrot powders together, using the same analytical framework, are limited. Multivariate chemometric tools such as principal component analysis (PCA) have proven useful for discriminating plant-derived powders according to their physicochemical and bioactive markers, reducing complex multidimensional data into a smaller number of interpretable components (Gergen & Harmanescu, 2012).

The aim of the present study was therefore to determine and compare the physicochemical properties and bioactive compound contents of four freeze-dried vegetable powders, red cabbage, beetroot, black carrot, and fermented black carrot, and to apply PCA as a chemometric approach to evaluate the relationships among the measured variables and to discriminate the powders according to their physicochemical and bioactive identity.

Materials and Methods

Materials

Red cabbage (*Brassica Oleracea* var. capitata f. rubra), beetroot (*Beta vulgaris* L.), and black carrot (*Daucus carota* ssp. sativus) were obtained from local markets, washed, and cut into uniform pieces. The fermented black carrots (*Daucus carota* ssp. sativus var. *atrorubens* Alef.) used in this study were obtained from fermented carrot residues remaining after the removal of the şalgam samples produced at the Department of Food Engineering, Niğde Ömer Halisdemir University. All four vegetable materials were frozen (VWR Symphony, USA) and subsequently dried using a laboratory-scale freeze-dryer (Scanvac Coolsafe 95-15 Pro, Denmark) until the water was completely removed. The dried materials were ground into fine powders, sieved, and stored in airtight containers protected from light at low temperature until analysis. All analyses were performed in triplicate ($n = 3$) for each powder sample.

Methods

pH was measured directly in aqueous suspensions of the powders using a calibrated digital pH meter (Hanna Edge, USA). Dry matter content was determined gravimetrically by drying samples to constant weight in a hot-air oven and was calculated as the complement of the moisture loss. Soluble solids content was determined as °Brix using a digital refractometer (HI96801 - Hanna Instruments Canada). Titratable acidity was determined by titration with standardized sodium hydroxide solution and expressed as g citric acid equivalents per 100 g of powder. Ash content was determined by incineration of the samples in a muffle furnace at high temperature until a constant, whitish-gray residue was obtained, and expressed as a percentage of the initial sample weight. Total sugar content was determined spectrophotometrically and expressed as a percentage of the powder.

Color was measured directly on the powders using a colorimeter, and the CIE L* (lightness), a* (redness–greenness), and b* (yellowness–blueness) coordinates were recorded. The total color difference (ΔE) was calculated from the L*, a*, and b* values relative to a fixed reference point.

Total phenolic content (TPC) was determined using the Folin–Ciocalteu method, with absorbance measured spectrophotometrically and results expressed as mg gallic acid equivalents (GAE) per kg of dry powder, based on a gallic acid calibration curve (Baltacıoğlu et al., 2026). Total monomeric anthocyanin (TMA) content was determined by the pH-differential method using absorbance measurements at 525 nm and 700 nm in buffers at pH 1.0 and pH 4.5, and results were expressed as mg cyanidin-3-glucoside equivalents per 100 g of powder (Baltacıoğlu et al., 2024). Antioxidant activity (AA) was determined using the DPPH radical scavenging assay and expressed as percentage inhibition relative to a control solution (Baltacıoğlu et al., 2024).

Statistical Analysis

All results are expressed as mean $\pm$ standard deviation (SD) of triplicate determinations. Principal component analysis (PCA) was performed on the correlation matrix of the eleven measured physicochemical and bioactive variables (pH, dry matter, Brix, titratable acidity, ash content, L*, a*, b*, ΔE , total sugar, TPC, AA, and TMA) to reduce data dimensionality and to evaluate the relationships among variables and the discrimination of the four vegetable powders based on their physicochemical and bioactive profiles.

Results

The physicochemical characteristics of the four freeze-dried vegetable powders are summarized in Table 1. Fermented black carrot showed the lowest pH (3.77 ± 0.01) and the highest titratable acidity (0.241 ± 0.016 g citric acid/100 g) among the samples, consistent with acid production during fermentation, while beetroot showed the highest pH (6.36 ± 0.02) and the lowest titratable acidity (0.060 ± 0.004 g citric acid/100 g). Beetroot also had the highest dry matter content ($14.23 \pm 0.43\%$) and ash content ($10.18 \pm 0.16\%$), whereas fermented black carrot had the highest ash content among all samples ($21.94 \pm 0.08\%$). Total sugar content was highest in black carrot ($7.17 \pm 0.42\%$) and could not be determined in the fermented black carrot powder.





Table 1. Physicochemical properties of freeze-dried vegetable powders.

Parameter	Black carrot	Beetroot	Red cabbage	Fermented black carrot
pH	5.60 ± 0.14 ^b	6.36 ± 0.02 ^a	5.65 ± 0.15 ^b	3.77 ± 0.01 ^c
Dry matter (%)	10.90 ± 0.07 ^b	14.23 ± 0.43 ^a	11.00 ± 0.05 ^b	13.64 ± 0.21 ^a
Soluble solids (°Brix)	3.63 ± 0.32 ^a	4.13 ± 0.31 ^a	4.13 ± 0.06 ^a	1.60 ± 0.44 ^b
Titrateable acidity (g citric acid/100 g)	0.090 ± 0.006 ^c	0.060 ± 0.004 ^d	0.139 ± 0.004 ^b	0.241 ± 0.016 ^a
Ash (%)	8.55 ± 0.07 ^{bc}	10.18 ± 0.16 ^b	8.21 ± 2.06 ^{bc}	21.94 ± 0.08 ^a
Total sugar (%)	7.17 ± 0.42 ^a	4.37 ± 0.15 ^b	4.77 ± 1.05 ^b	n.d.

Different superscript letters within the same row indicate significant differences (**p* < 0.05); n.d.: not determined

Table 2. CIE color coordinates (L*, a*, b*) and total color difference (ΔE) of freeze-dried vegetable powders.

Sample	L*	a*	b*	ΔE
Black carrot	39.97 ± 0.65 ^b	15.75 ± 0.36 ^d	-2.52 ± 0.09 ^c	53.18 ± 0.54 ^c
Beetroot	21.45 ± 1.41 ^c	37.90 ± 2.74 ^a	8.93 ± 1.49 ^d	76.72 ± 2.34 ^a
Red cabbage	45.50 ± 0.88 ^a	20.79 ± 0.22 ^c	-12.86 ± 0.05 ^d	56.58 ± 0.68 ^b
Fermented black carrot	44.07 ± 0.53 ^a	28.52 ± 0.74 ^b	4.11 ± 0.14 ^b	54.70 ± 0.57 ^{bc}

Different superscript letters within the same column indicate significant differences (**p* < 0.05)

Table 3. Total phenolic content (TPC), total monomeric anthocyanin content (TMA), and antioxidant activity (AA) of freeze-dried vegetable powders.

Sample	TPC (mg GAE/kg)	TMA (mg Cy-3-glu E/100 g)	AA (% inhibition)
Black carrot	40460.1 ± 1013.9 ^a	538.96 ± 12.11 ^c	51.84 ± 2.15 ^a
Beetroot	21203.3 ± 1291.7 ^b	1141.09 ± 45.99 ^b	22.91 ± 1.20 ^b
Red cabbage	44001.1 ± 2549.0 ^a	1873.20 ± 1.25 ^a	51.20 ± 2.02 ^a
Fermented black carrot	16012.0 ± 341.3 ^c	54.27 ± 7.51 ^d	22.88 ± 2.92 ^b

GAE: gallic acid equivalents; Cy-3-glu E: cyanidin-3-glucoside equivalents. Different superscript letters within the same column indicate significant differences (**p* < 0.05)

Color parameters of the powders are presented in Table 2. Beetroot powder displayed the lowest lightness (L* = 21.45 ± 1.41) and the highest redness (a* = 37.90 ± 2.74) and overall color difference (ΔE = 76.72 ± 2.34), consistent with its intense betalain pigmentation. Red cabbage powder was the lightest sample (L* = 45.50 ± 0.88) and showed the most negative b* value (-12.86 ± 0.05), reflecting its blue-violet anthocyanin hue, whereas fermented black carrot exhibited a shift toward positive b* values (4.11 ± 0.14) compared with unfermented black carrot, indicating a fermentation-induced change in hue.

The bioactive compound contents of the powders are shown in Table 3. Red cabbage and black carrot exhibited markedly higher total phenolic content, total monomeric anthocyanin content, and antioxidant activity than beetroot and fermented black carrot. Antioxidant activity closely paralleled total phenolic content across all samples, being highest in red cabbage (51.20 ± 2.02%) and black carrot (51.84 ± 2.15%) and lowest in beetroot (22.91 ± 1.20%) and fermented black carrot (22.88 ± 2.92%). Fermentation markedly reduced the total monomeric anthocyanin content of black carrot, from 538.96 ± 12.11 mg cyanidin-3-glucoside equivalents (Cy-3-glu E)/100 g in the unfermented sample to 54.27 ± 7.51 mg Cy-3-glu E/100 g in the fermented sample.

Principal Component Analysis

PCA was applied to the eleven physicochemical and bioactive variables measured for the four freeze-dried vegetable powders. The first two principal components explained 91.1% of the total variance, with PC1 accounting for 54.3% and PC2 accounting for 36.8%, indicating that the resulting score plot adequately represented the variability among the samples (Figure 1).

The score plot revealed a clear separation of the four powders into distinct groups. Red cabbage and black carrot were positioned on the positive side of PC1, associated with higher dry matter, total sugar, TPC, AA, and TMA values, and their close clustering indicated similar physicochemical and bioactive characteristics. Fermented black carrot was located in the upper-left quadrant (negative PC1, positive PC2), characterized by higher titrateable acidity and lighter color values, illustrating the substantial effect of fermentation on the chemical composition of black carrot. Beetroot was clearly separated in the lower-left quadrant (negative PC1 and PC2), associated mainly with ash content and the color coordinates a* and b*, reflecting its distinct pigment and mineral composition.

The PCA biplot (Figure 2) showed that the vectors for TPC, AA, dry matter, total sugar, and TMA were oriented in similar directions on the positive side of PC1, indicating strong positive correlations among these variables; the proximity of red cabbage and black carrot to these vectors confirmed their richness in bioactive





compounds. The vectors for titratable acidity and L* were associated with positive PC2 values and were oriented toward the fermented black carrot sample, reflecting the acidification and lightening of color associated with fermentation. Ash content and the color coordinates a*, b*, and ΔE were positioned on the negative side of PC1 and were associated with beetroot, consistent with its mineral-rich, intensely colored profile.

Table 4 presents the loading values of each variable on PC1 and PC2. PC1 was positively correlated with TPC, AA, dry matter, total sugar, and TMA, and negatively correlated with ash content, titratable acidity, and the color coordinates a* and b*, indicating that PC1 primarily represented the bioactive and nutritional quality of the powders. PC2 was positively correlated with L* and titratable acidity and negatively correlated with pH, ΔE , a*, b*, Brix, and TMA, indicating that PC2 mainly reflected differences related to acidity and color characteristics among the samples.

Table 4. Loading values of the principal components (PC1 and PC2) for the physicochemical and bioactive variables of freeze-dried vegetable powders.

Variable	PC1	PC2
pH	0.243	-0.345
Dry matter	0.331	0.210
Brix	0.296	-0.259
Titratable acidity	-0.223	0.341
Ash	-0.348	0.166
L*	0.053	0.444
a*	-0.255	-0.306
b*	-0.283	-0.238
ΔE	-0.069	-0.442
Total sugar	0.328	-0.119
TPC	0.361	0.115
AA	0.341	0.180
TMA	0.258	-0.151

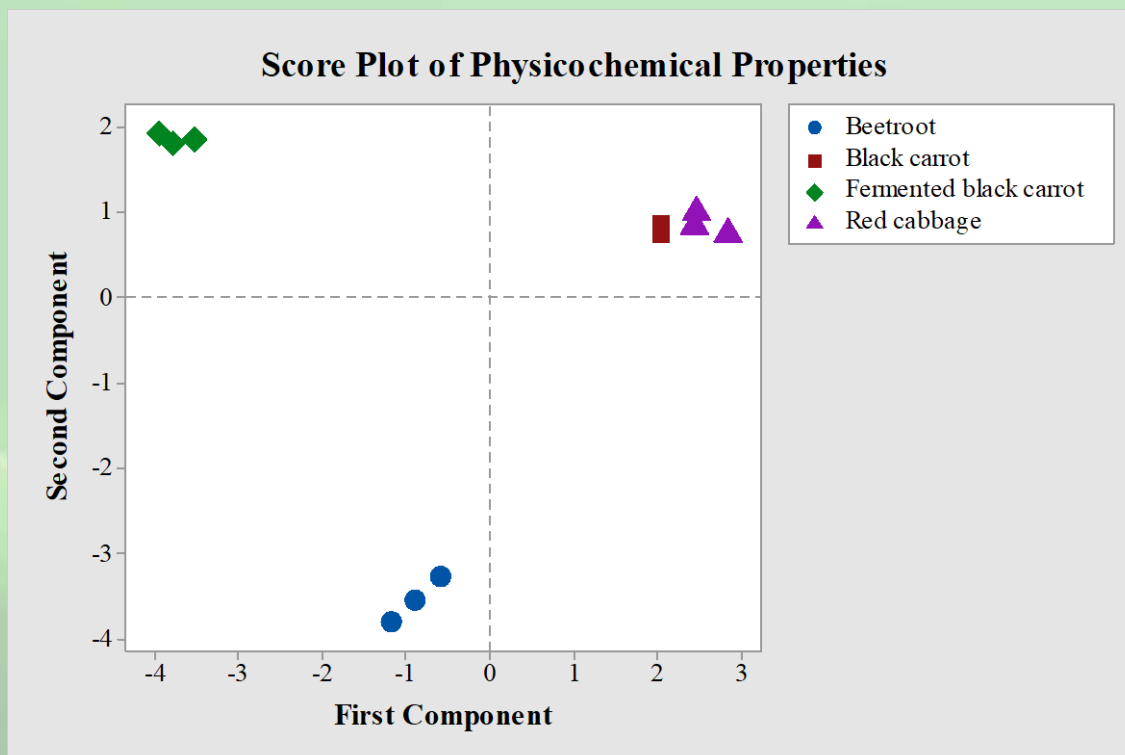


Figure 1. PCA score plot based on the physicochemical and bioactive properties of the freeze-dried vegetable powders.



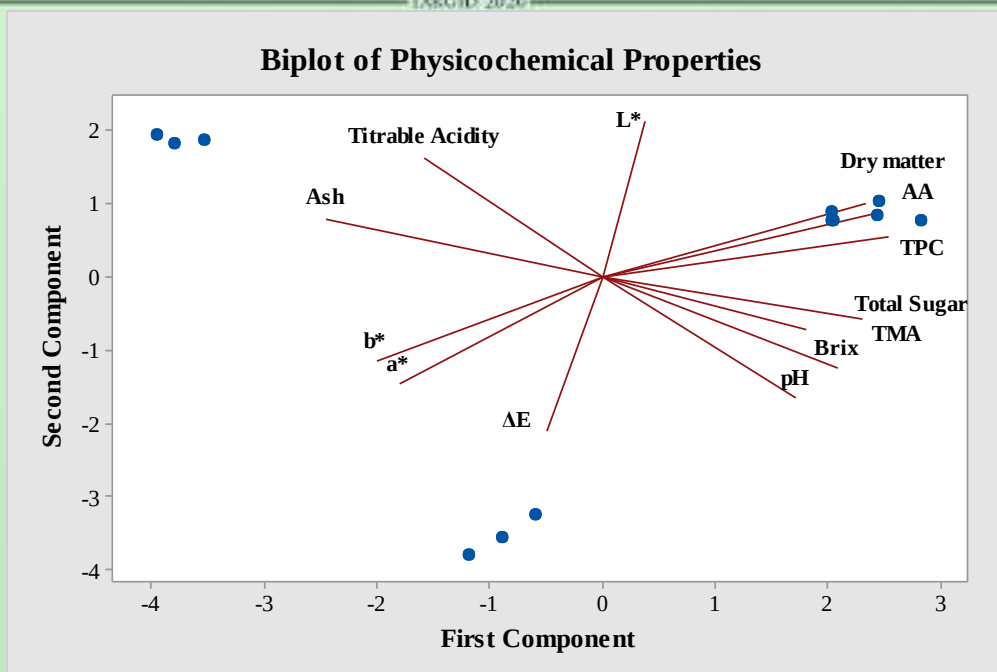


Figure 2. PCA biplot showing the relationships between the physicochemical variables and the freeze-dried vegetable powders.

Discussion

The results of this study confirmed that freeze-drying preserved distinct physicochemical and bioactive identities in red cabbage, beetroot, black carrot, and fermented black carrot powders, and that these identities could be effectively discriminated through PCA. Red cabbage and black carrot powders showed comparably high total phenolic content, total monomeric anthocyanin content, and antioxidant activity, consistent with reports that freeze-drying retains a higher proportion of anthocyanins and phenolic compounds than thermal drying methods, since red cabbage anthocyanin and phenolic retention has been shown to be strongly dependent on processing method, with freeze-drying generally outperforming hot-air drying in pigment preservation (Tan et al., 2023).

The strong positive correlation observed between TPC and AA on PC1 supports the well-established relationship between phenolic content and antioxidant capacity, in which phenolic compounds act as the principal contributors to free-radical scavenging activity in plant-derived powders. The clustering of red cabbage and black carrot along this component suggests that, despite differing in pigment chemistry, anthocyanins in red cabbage and black carrot, both vegetables share comparably high overall phenolic and antioxidant potential when processed by freeze-drying.

Fermented black carrot was clearly separated from the unfermented sample along PC2, mainly through the combined effect of increased titratable acidity and altered lightness. This is consistent with previous findings that fermentation of carrot matrices with lactic acid bacteria substantially increases titratable acidity through organic acid production while modifying the phenolic acid profile of the substrate (Uzun et al., 2024). In the present study, fermentation was further associated with a pronounced decrease in total monomeric anthocyanin content relative to unfermented black carrot, suggesting that the acidic, microbially active fermentation environment promoted degradation or structural transformation of anthocyanin pigments, consistent with the marked shift toward less negative b^* values observed in the fermented sample.

Beetroot powder occupied a distinct position in the PCA space, mainly associated with ash content and the color coordinates a^* and b^* , reflecting its characteristic mineral richness and betalain-based pigmentation rather than the anthocyanin- and phenolic-driven profile of red cabbage and black carrot. This is in line with reports that beetroot powder color and phenolic content are strongly influenced by drying method and cultivar, with betalains representing a chemically distinct pigment class from anthocyanins despite producing a comparably intense coloring effect (Tarasevičienė et al., 2024). The comparatively lower antioxidant activity of beetroot relative to red cabbage and black carrot in this study may be attributed to the generally lower molar antioxidant efficiency of betalains compared with the highly conjugated, acylated anthocyanins typical of red cabbage and black carrot.

Overall, the PCA results demonstrate that combining physicochemical and bioactive markers within a single multivariate framework provides an efficient means of distinguishing vegetable powders according to their processing-related and compositional characteristics, in agreement with previous applications of PCA as a chemometric discrimination tool in plant-derived food matrices (Gergen & Harmanescu, 2012).





Conclusion

Freeze-dried red cabbage and black carrot powders were characterized by high dry matter, total sugar, phenolic, anthocyanin, and antioxidant capacity, whereas fermented black carrot displayed a distinct acidic and anthocyanin-reduced profile resulting from fermentation, and beetroot was distinguished by its ash content and betalain-related color attributes. PCA effectively discriminated the four vegetable powders based on these physicochemical and bioactive characteristics, confirming its usefulness as a chemometric tool for evaluating and classifying functional vegetable powders. These findings support the potential use of freeze-dried red cabbage and black carrot powders as concentrated sources of natural phenolic and anthocyanin compounds for functional food applications.

Declarations

Author Contribution Statement

İkbal Abdullah Şahin: Data collection, investigation, formal analysis, and writing the original draft
Hande Baltacıoğlu and Hasan Tangüler: Project administration, supervision, conceptualization, methodology, review and editing

Fund Statement

This research has been funded by the Scientific Research Projects Coordination Unit of Niğde Ömer Halisdemir University. Project Number: TGT 2025/2-LÜTEP.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Baltacıoğlu, C., Keskin, O., Baltacıoğlu, H., & Ağçam, E. (2024). Encapsulation and drying methods in the production of powdered red cabbage (*Brassica oleracea* L.): Chemometrics and Fourier transform infrared spectroscopy. *Food Science and Technology International*, 10820132241238261. <https://doi.org/10.1177/10820132241238261>
- Baltacıoğlu, H., Baltacıoğlu, C., & Tangüler, H. (2019). Effect of Waste Fermented Carrot Powder Addition on Quality of Biscuits. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 7(9), 1237–1244. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v7i9.1237-1244.2759>
- Baltacıoğlu, C., Yetisen, M., & Baltacıoğlu, H. (2026). Enhancing Quality in Ultrasound-Assisted Puffing Drying of Apples: Optimization of Process Parameters and Phenolic Retention Modeling. *Food Bioprocess Technol.*, 19, 95. <https://doi.org/10.1007/s11947-025-04188-8>
- Clifford, T., Howatson, G., West, D. J., & Stevenson, E. J. (2015). The potential benefits of red beetroot supplementation in health and disease. *Nutrients*, 7(4), 2801–2822. <https://doi.org/10.3390/nu7042801>
- Dereli, U., Türkyilmaz, M., Yemiş, O., & Özkan, M. (2015). The Phenolics of Black Carrots. *Journal of Food Biochemistry*, 39, 528–537. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12155>
- Gergen, I., & Harmanescu, M. (2012). Application of principal component analysis in the pollution assessment with heavy metals of vegetable food chain in the old mining areas. *Chemistry Central Journal*, 6(1), 156. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-6-156>
- Ghareaghajlou, N., Hallaj-Nezhadi, S., & Ghasempour, Z. (2021). Red cabbage anthocyanins: Stability, extraction, biological activities and applications in food systems. *Food Chemistry*, 365, 130482. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130482>
- Murali, S., Kar, A., Mohapatra, D., & Kalia, P. (2015). Encapsulation of black carrot juice using spray and freeze drying. *Food Science and Technology International*, 21(8), 604–612. <https://doi.org/10.1177/1082013214557843>
- Ozer, T., Yetisen, M., Baltacıoğlu, C., Baltacıoğlu, H., Uslu, H., & Tanguler, H. (2024). Use of waste fermented black carrot powder dried by different methods as a substitute in noodle production. *Food Measure*, 18, 6561–6573. <https://doi.org/10.1007/s11694-024-02671-y>
- Tan, S., Lan, X., Chen, S., Zhong, X., & Li, W. (2023). Physical character, total polyphenols, anthocyanin profile and antioxidant activity of red cabbage as affected by five processing methods. *Food Research International*, 169, 112929. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112929>
- Tanguler, H., & Tatlısoy, A. (2022). Evaluation of shalgam residuals as a partial wheat flour substitution in tarhana production as a green food product. *J. Food Process. Preserv.*, 46, e17267. <https://doi.org/10.1111/jfpp.17267>
- Tarasevičienė, Ž., Paulauskienė, A., Černiauskienė, J., & Degimienė, A. (2024). Chemical content and color of dried organic beetroot powder affected by different drying methods. *Horticulturae*, 10(7), 733. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10070733>
- Todorovic, P., Kicovic, N., Sentic, M., Gadjanski, I., Karbowiak, T., Ristivojevic, P., & Vidic, J. (2026). Sustainable use of bioactive natural pigments in the food industry. *Applied Food Research*, 6(1), 102039. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2026.102039>
- Uzun, D. E., Dikmetas, D. N., Karbancioglu-Guler, F., Tomas, M., & Capanoglu, E. (2024). Exploring the impact of fermentation on bioactive compounds in two different types of carrot pomace. *Food Bioscience*, 61, 104646. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104646>





From Awareness to Behavior: A Qualitative Investigation of Food Waste Behaviors in the Context of Environmental Consciousness and Dietary Practices

Sibel Ayyıldız^{1,*}, Şenol Ayyıldız²

¹Karabük University, Faculty of Tourism, Department of Gastronomy and Culinary Arts, 78600, Karabük, Türkiye

²Provincial Directorate of Environment, Urbanization and Climate Change, 78000, Karabük, Türkiye.

Abstract

This study aims to examine individuals' food waste behaviors in depth within the framework of environmental awareness and dietary practices. The increasing level of food waste on a global scale not only leads to significant economic losses but also contributes to the depletion of natural resources and the rise in greenhouse gas emissions. In response to this critical environmental issue, the present study investigates the relationship between individuals' levels of environmental awareness and their daily food consumption behaviors from a qualitative perspective. The research was designed using a phenomenological approach. Data were collected through semi-structured, in-depth interviews. The participants, selected through purposive sampling and representing diverse socio-demographic characteristics, were interviewed to explore themes such as environmental consciousness, perceptions of sustainable nutrition, awareness of food waste, daily consumption practices, and behavioral barriers. Data obtained from 25 participants were analyzed using thematic analysis. The findings reveal that the majority of participants perceive food waste as an environmental problem; however, this awareness does not consistently translate into daily behaviors. The "awareness-behavior gap" is particularly associated with habits, time constraints, and unplanned consumption patterns. Nevertheless, some participants demonstrated sustainable practices such as reusing leftovers, purchasing only what is needed, and making environmentally friendly choices. However, the continuity of these behaviors was found to be limited. In conclusion, the study indicates that environmental awareness alone is insufficient to reduce food waste; structural, educational, and policy interventions that support behavioral change are also necessary. The findings highlight the need for multidimensional strategies to promote sustainable nutrition and consumption behaviors.

Key Words: Food waste, Environmental awareness, Sustainable environment, Sustainable nutrition

Farkındalıktan Davranışa: Çevresel Bilinç ve Beslenme Pratikleri Bağlamında Gıda İsrafi Davranışlarının Nitel İncelenmesi

Özet

Bu çalışma, bireylerin gıda israfı davranışlarını çevresel farkındalık ve beslenme uygulamaları kapsamında derinlemesine incelemeyi amaçlamaktadır. Küresel ölçekte artan gıda israfı, bir taraftan ekonomik kayıplara sebep olurken diğer taraftan doğal kaynakların tükenmesine ve sera gazı emisyonlarının artmasına yol açmaktadır. Bu önemli bir çevresel sorun karşısında bu çalışma bireylerin çevresel farkındalık düzeyleri ile günlük gıda tüketim davranışları arasındaki ilişkiyi nitel bir perspektifle incelemiştir. Yapılan araştırma, fenomenolojik desen çerçevesinde tasarlanmıştır. Veriler yarı yapılandırılmış derinlemesine görüşmeler aracılığıyla toplanmıştır. Amaçlı örnekleme yöntemiyle belirlenen ve farklı sosyo-demografik özellikler gösteren katılımcılarla gerçekleştirilen görüşmelerde; çevresel bilinç, sürdürülebilir beslenme algısı, gıda israfı farkındalığı, günlük tüketim pratikleri ve davranışsal engeller gibi temalar incelenmiştir. 25 katılımcıdan elde edilen veriler tematik analiz yöntemiyle çözümlenmiştir. Katılımcıların büyük çoğunluğunun gıda israfını çevresel bir sorun olarak tanımladığını, ancak bu farkındalığın günlük davranışlara her zaman yansımadığını ortaya koymaktadır. "Farkındalık-davranış açığı" özellikle alışkanlıklar, zaman kısıtı ve plansız tüketim davranışlarıyla ilişkilendirilmiştir. Bununla birlikte, bazı katılımcıların artan yemekleri değerlendirme, ihtiyaç kadar satın alma ve çevre dostu tercihler yapma gibi sürdürülebilir uygulamalar geliştirdiği görülmüştür. Ancak bu davranışların sürekliliğinin sınırlı olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma gıda israfının azaltılmasında yalnızca çevresel farkındalığın yeterli olmadığını; bireysel davranış değişimini destekleyen yapısal, eğitsel ve politik müdahalelere de ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymuştur. Çalışma, sürdürülebilir beslenme ve tüketim davranışlarının geliştirilmesine yönelik çok boyutlu stratejilerin gerekliliğine dikkat çekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Gıda israfı, Çevresel farkındalık, Sürdürülebilir çevre, Sürdürülebilir beslenme





Development of novel silver and zinc nanobiocomposites by Mastic gum (*Pistacia lentiscus*) and impregnation on surgical sutures for accelerated wound healing: Characterization, Biological and Cytocompatibility studies

Arslan Rasool^{1*}, Muhammad Shahid¹, Fozia Anjum², David Fengwei Xie³,
Muhammad Tjammal Rehman¹

¹Department of Biochemistry, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan.

²Department of Chemistry, Government College University Faisalabad, Pakistan.

³Department of Chemical Engineering, University of Bath, United Kingdom.

Abstract

Background: Bacterial adherence to sutures is one of the main causes of surgical site infections. An antibacterial suture material with enhanced wound healing function may protect the surgical site from various microbial infections. Thus, the present study aimed to investigate the synergistic effect of biogenic metallic nanoparticles when combined with sutures for biomedical use.

Methods: In the present research, we developed Silver (Ag), and zinc oxide (ZnO) based surgical sutures for the accelerated wound healing. Sutures fabricated with biogenic metallic nanoparticles were intensively characterized using UV-Vis, FTIR, scanning electron microscopy (SEM), and X-ray diffraction (XRD) along with zeta sizer and its biological potential were assessed by *In-vitro* and *In-vivo* studies.

Results: Color change from transparent to dark, and infra-red spectra with Ag and ZnO-bond stretches at confirmed the synthesis of NPs. The XRD analysis revealed sharp peaks which indicates the crystalline structure of biogenic nanoparticles. These mastic gum based NPs coated sutures show excellent antioxidant activities confirmed by DPPH radical scavenging assay. The agar well diffusion method was used to check the antibacterial potential against selected bacterial strains that are commonly found in infectious wounds such as *Escherichia coli*, *Bacillus Subtilis*, *Proteus mirabilis*, *Staph aureus* and *Pseudomonas aeruginosa* and their zones of inhibitions were measured, indicated excellent antibacterial potential. *In-vitro* cytotoxicity by hemolytic assay along with mutagenicity by Ames assay exhibited no toxicity and no mutagenicity. These results showed that the synthesized mastic gum based nanobiocomposites are safe for impregnation into surgical sutures by dip coating method for surgical site application. The designed suture showed excellent wound healing potential in rabbits with rapid rate of epithelialization, wound contraction, mild inflammation and absence of any infection on the wounded site.

Conclusion: Conclusively, Coating the sutures with nanobiocomposites possess effective antibacterial capacity to surgical sutures besides providing biocompatibility and wound healing activity.

Key Words: Nanomaterials, Wound healing, Anti-bacterial dressings, Sutures, Tissue regeneration





Akıllı Ambalaj Sistemleri İçin Patates Kabuğu Nişastası Esaslı Biyoplastiklerde Gül Hatmi (*Alcea rosea*) Ekstraktının Potansiyelinin Değerlendirilmesi

Çağla Çam¹, Ayça Aydoğdu Emir¹, Eda Yıldız²

¹Çanakkale onsekiz mart üniversitesi

²Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Özet

Tarımsal atıkların katma değerli ürünlere dönüştürülmesi, sürdürülebilir malzeme bilimi ve döngüsel ekonomi açısından kritik bir potansiyel taşımaktadır. Bu çalışmada, bir gıda sanayi yan ürünü olan patates kabuklarından ekstrakte edilen nişasta ile antosiyanin bakımından zengin gül hatmi (*Alcea rosea*) çiçeği kullanılarak, pH değişimlerine duyarlı biyoplastik filmlerin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında, kurutulup öğütülen gül hatmi çiçekleri farklı konsantrasyonlardaki etanol-su karışımları (%0, 25, 50, 75 ve 100 etanol) ile 25°C’de, 500 rpm’de 1 saat süreyle ekstrakte edilmiştir. Elde edilen ekstraktlar toplam antosiyanin içeriği, antioksidan kapasite ve pH’ya bağlı renk değişimi karakteristikleri açısından değerlendirilmiştir. Analizler sonucunda en yüksek antioksidan kapasite ve antosiyanin içeriğini sağlayan %50 etanol çözeltisi optimum ekstraksiyon sistemi olarak belirlenmiştir. Filmlerin ana matrisini oluşturmak üzere patates kabuklarından mekanik öğütme ve santrifüjleme yöntemleriyle nişasta izole edilmiştir. Nişasta bazlı film çözeltisine belirlenen oranlarda gül hatmi ekstraktı ilave edilerek, döküm (casting) yöntemiyle biyoplastik filmler üretilmiştir. Geliştirilen filmlerin pH duyarlılığını belirlemek amacıyla, film yüzeylerine pH 1-13 aralığındaki tampon çözeltiler uygulanarak renk değişimleri izlenmiştir. Testler sonucunda, filmlerin içeriğindeki antosiyaninlerin pH değişimine bağlı olarak geniş bir spektrumda karakteristik renk geçişleri sergilediği tespit edilmiştir. Elde edilen veriler; patates kabuğu nişastası ve gül hatmi ekstraktı ile hazırlanan biyoplastiklerin, gıdaların tazelik ve bozulma durumunu görsel olarak rapor edebilen akıllı ambalaj sistemleri için sürdürülebilir ve fonksiyonel bir alternatif sunduğunu kanıtlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Patates kabuğu, Gül hatmi, Antosiyanin, pH duyarlılığı, Akıllı ambalaj





A Sustainable and Modular Balcony Design for Data-Driven Organic Food Production in Urban Residences

Hilal Gülçin Kara¹, Aynur Kayabaş², Mehmet Norash^{3*}

¹Interior Architect, 20160, Denizli, Türkiye.

²Interior Architect, 06480, Ankara, Türkiye.

³Selçuk University, Faculty of Architecture and Design, Department of Interior Architecture, 42090, Konya, Türkiye.

Abstract

Rapid urbanization and the reduction of accessible green spaces have weakened individuals' interaction with nature, negatively affecting well-being. Balconies, as accessible micro-spaces, have the potential to support sustainable urban living but are often underutilized. This study aims to transform balconies into productive spaces through a sustainability-oriented and data-driven modular design approach. A quantitative survey was conducted with 462 participants across seven geographical regions, examining usage patterns, functional needs, and behavioral tendencies. Statistical analyses revealed significant relationships between usage frequency and functional expectations. Findings indicate strong user demand for more functional balcony use, especially for plant cultivation and psychological well-being. Based on these results, a modular design proposal integrating planting, seating, and storage was developed. The study concludes that balconies can be redefined as productive and sustainable spaces, contributing to urban living quality and design innovation.

Keywords: Balcony Design, Ecological Design, Modular Design, Organic Food Production, Sustainability, Urban Agriculture





Assesment of Calf Care, Feeding, and Health Management Practices in Dairy Cattle Farms in Niğde Province

Ayhan Ceyhan^{1*}, Sema Yaman Fıncıoğlu¹, Sibel Canoğulları Doğan¹, Ahmet Şekeroğlu¹

¹Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Agricultural Sciences and Technologies, Department of Animal Production and Technologies, Niğde Campus, 51240 Niğde, Türkiye

Abstract

This study was conducted to determine calf care practices on dairy farms located in the central district of Niğde province and the Bor district. Within the scope of the research, a total of 53 farms were examined. Majority of the farms (approximately 85%) were family-owned enterprises, and the predominant proportion of producers (65%) were fell within the 40–60 age bracket. Generally, the education level of producers was limited to primary and secondary education. Only 20% of the producers had received vocational training related to dairy cattle farming. About 90% of the farms considered dairy production as their main source of income. An examination of dry period management and vaccination practices revealed that standard vaccinations administered during the late gestation period of cows occurred at a rate of 85%. The rate was found to be 84% on small-scale farms and 88% on medium-scale farms. Colostrum feeding rates for calves were relatively high; 85.5% of farms provided colostrum immediately after birth, and it was administered twice daily during the first three days. Calf starter feed was introduced on average on the third day, while water supply was initiated at an early stage in 85.5% of the farms. In calf care practices, the distribution of tasks among family members was balanced; both men and women participated actively in care, while the involvement of children and hired workers was limited. However, inadequate early-stage care and feeding in small-scale farms resulted in elevated calf mortality rates. The study found that calf mortality was determined as 16.1% in small-scale farms and 12.5% in medium scale farms. In general, although dairy cattle farms in Central and Bor districts of Niğde have adequate livestock capacity and sustainable potential, lack of education and non-standard care practices have a detrimental effect on productivity. Therefore, implementation of training programs for producers, standardization of calf care and feeding practices, and ensuring regular implementation of vaccination programs are recommended. These measures will have a substantial impact on enhancing herd productivity and ensuring the sustainability of farms.

Keywords: Dairy cattle farming, calf management, farm size, Niğde, colostrum, animal health

Niğde İli Süt Sığırcılığı İşletmelerinde Buzağı Bakım, Besleme ve Sağlık Yönetimi Uygulamalarının Analizi

Özet

Bu çalışma, Niğde ili Merkez ve Bor ilçesinde süt sığırcılığı yapan işletmelerin buzağı bakım uygulamalarını değerlendirmek amacıyla yürütülmüştür. Araştırma kapsamında 53 işletme incelenmiştir. İşletmelerin çoğu (yaklaşık %85) aile işletmesi niteliğinde olup, üreticilerin büyük kısmı (%65) 40–60 yaş aralığındadır. Eğitim düzeyi genellikle ilkököl ve lise ile sınırlı olup, üreticilerin yalnızca %20'si süt sığırcılığı ile ilgili mesleki eğitim almıştır. İşletmelerin %90'ı süt sığırcılığını ana gelir kaynağı olarak değerlendirmektedir. Kuru dönem yönetimi ve aşı uygulamaları incelendiğinde, ineklere gebeliğinin son döneminde uygulanan standart aşıların %85 oranında yapıldığı görülmüştür. Küçük ölçekli işletmelerde bu oran %84, orta ölçekli işletmelerde %88 olarak saptanmıştır. Buzağların ağız sütü ile beslenme oranı oldukça yüksektir; işletmelerin %85,5'inin doğum sonrası ağız sütünü verdiği, doğum sonrası ilk üç gün günde iki kez verdikleri belirlenmiştir. Buzağı başlangıç yemleri, genel ortalama olarak 3. gün verilmekte, buzağılara su temini ise işletmelerin %85,5'inde erken dönemde sağlanmaktadır. Buzağı bakım uygulamalarında görev dağılımı aile üyeleri arasında dengelidir; erkekler ve kadınlar bakımda aktif rol almaktayken çocukların ve aile dışından işçi desteği sınırlı kalmaktadır. Ancak küçük ölçekli işletmelerde erken dönemde bakım ve beslemenin yetersizliği, buzağı ölümlerini artırmaktadır. Araştırma kapsamında buzağı ölümleri küçük işletmelerde %16,1, orta ölçekli işletmelerde %12,5 olarak belirlenmiştir. Genel olarak Niğde Merkez ve Bor ilçesindeki süt sığırcılığı işletmeleri, yeterli hayvan varlığına ve sürdürülebilir potansiyele sahip olsa da üreticilerin yetersiz eğitimi ve standart dışı bakım uygulamaları sürü verimliliğini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle üreticilere yönelik eğitim programlarının artırılması, buzağı bakım ve besleme uygulamalarının standartlaştırılması ve aşı programlarının düzenli uygulanması önerilmektedir. Bu önlemler, sürü verimliliğinin artırılmasına ve işletmelerin sürdürülebilirliğine önemli katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Süt sığırcılığı, buzağı bakımı, işletme ölçeği, Niğde, ağız sütü, hayvan sağlığı





Giriş

Süt sığırcılığı işletmelerinde sürdürülebilir üretim ancak buzağuların yaşama gücü oranının artırılması ile mümkün olabilir. İşletmede doğan buzağular, sürünün devamlılığını sağlarken işletmelerin karlılığını da doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle çiftliklerde, buzağı büyütmeye doğru bakım, besleme ve sağlık yönetimi uygulamalarının yerleştirilmesi oldukça önemlidir.

Buzağı yetiştiriciliğinde neonatal dönem oldukça önemli bir periyottur. Buzağı yönetimi uygulamalarında ciddi gelişmeler olmasına rağmen, neonatal dönemde buzağuların hastalıklara yakalanma riski ve mortalite oranının %9 civarında olduğu rapor edilmektedir (Kozat, 2019). Buzağular yaşamlarının ilk 21 günlük dönemlerinde tam bir bağışıklık sistemi geliştiremediklerinden, özellikle erken dönemde çeşitli enfeksiyöz hastalıklara karşı duyarlı hale gelmektedirler. Bu nedenle, işletmelerde kolostrum yönetimi, pasif bağışıklığın oluşturulmasında temel bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Kolostrumun doğumdan sonraki ilk saatlerde yeterli miktar ve kalitede verilmesi, buzağı sağlığı üzerinde belirleyici rol oynamaktadır (Erdem ve Atasever, 2005; Kozat, 2019). Bununla birlikte kolostrum kalitesindeki farklılıklar, buzağuların hastalıklara karşı direncini doğrudan etkileyebilmektedir (Metin Kıyıcı ve Sevişoğlu, 2022).

Buzağı büyütmeye uygulanan süt içirme ve besleme programları da büyüme performansı ve rumen gelişimi bakımından oldukça önemlidir. Erken dönemde buzağı beslemede yapılacak hatalar buzağılarda gelişme geriliğine ve önemli sağlık sorunlarına yol açabilmektedir (Aydoğdu ve Karşı, 2020). Ayrıca buzağı kulübesinin koşulları, hijyen ve çevresel faktörler, özellikle ishal ve solunum yolu enfeksiyonları gibi yaygın hastalıkların ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Azkur ve Aksoy, 2018; Şahal ve ark., 2018).

Süt sığırcılığı işletmelerinde buzağı ölümleri çok önemli ekonomik kayıplara neden olmakta ve çoğunlukla işletme yönetiminden kaynaklanmaktadır (Aksakallı ve ark., 2026). Koruyucu hekimlik uygulamalarının yetersizliği, aşılama programlarının eksik uygulanması ve teknik bilgi eksikliği, buzağı kayıplarını artıran başlıca faktörler arasında yer almaktadır (Hadimli, 2020; Kaygısız ve ark., 2023).

Türkiye genelinde buzağı sağlığı ve kayıplarına ilişkin yapılan güncel çalışmalar, neonatal dönemin hayvancılık işletmeleri için kritik bir dönem olduğunu ortaya koymaktadır. Avcıoğlu ve ark. (2024) yedi farklı coğrafi bölgeyi kapsayan çalışmalarında, işletmelerin yaklaşık %82'sinde buzağı kayıplarının görüldüğünü ve genel kayıp oranının %19,3 seviyelerine ulaştığını bildirmektedirler. Bu bulgular, buzağı ölümlerinin yalnızca bireysel işletme düzeyinde değil, ülkesel ölçekte de önemli bir ekonomik kaybı oluşturduğunu göstermektedir. Bu kapsamda Niğde ili, süt sığırcılığı faaliyetlerinin yoğun olduğu ancak buzağı yetiştiriciliği uygulamalarına ilişkin sınırlı sayıda çalışmanın bulunduğu bir ilimizdir.

Bu çalışmanın amacı, Niğde ili Merkez ve Bor ilçelerinde faaliyet gösteren süt sığırcılığı işletmelerinde buzağı yetiştirme uygulamalarını (kuru dönem yönetimi, besleme, barınak ve sağlık) değerlendirmek ve mevcut durumun iyileştirilmesine yönelik öneriler geliştirmektir.

Materyal ve Yöntem

Materyal

Araştırma Niğde Damızlık Sığır Yetiştiricileri Birliği'ne (DSYB) kayıtlı süt sığırcılığı işletmelerinde yürütülmüştür. İşletmeler DSYB kayıtlarından küçük ve orta ölçekli olarak sınıflandırılmış ve bu gruplardan amaçlı örnekleme yöntemiyle seçilen toplam 53 işletme çalışma kapsamına alınmıştır.

Anket çalışması, işletme sahipleri veya işletme sorumluları ile yüz yüze görüşme yöntemi kullanılarak yürütülmüştür. Veriler; buzağı bakım ve besleme uygulamaları, sağlık yönetimi, barınak koşulları, aşılama programları ve işletme yapısal özelliklerini kapsayan yapılandırılmış bir anket formu ile toplanmıştır.

Yöntem

Araştırmada elde edilen veriler tanımlayıcı istatistikler kullanılarak değerlendirilmiştir. Sürekli değişkenler için ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerler; kategorik değişkenler için ise frekans (n) ve yüzde (%) dağılımları hesaplanmıştır.

İşletme ölçeğine (küçük ve orta ölçekli işletmeler) göre kategorik değişkenler arasındaki farklılıkların belirlenmesinde Pearson Ki-kare (χ^2) testi kullanılmıştır. Beklenen frekans değerlerinin 5'in altında olduğu durumlarda Fisher'in kesin Ki-kare testi uygulanmıştır.

Tüm istatistiksel analizler SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) 27.0 paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel anlamlılık düzeyi %95 güven aralığında değerlendirilmiş ve $P < 0,05$ değeri önemli kabul edilmiştir. $P \geq 0,05$ olan sonuçlar istatistiksel olarak "önemsiz" şeklinde ifade edilmiştir.

Bulgular

Demografik yapı

Niğde ili merkez ve Bor ilçesinde süt sığırcılığı yapan kişilerin demografik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.





Katılımcıların demografik özellikleri incelendiğinde, yaş ortalamasının genel olarak $47,0 \pm 1,3$ yıl olduğu ve üreticilerin ağırlıklı olarak orta yaş grubunda yoğunlaştığı görülmektedir. İşletme ölçeği açısından değerlendirildiğinde, orta ölçekli işletme sahiplerinin yaş ortalamasının ($50,0 \pm 1,7$), küçük ölçekli işletme sahiplerine ($44,7 \pm 1,9$) göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum, işletme büyüklüğü ile üreticilerin deneyim ve yaş düzeyi arasında bir ilişki olabileceğini düşündürmektedir.

Cinsiyet dağılımı incelendiğinde, katılımcıların büyük çoğunluğunu erkeklerin oluşturduğu (%87,5) görülmektedir. Küçük ölçekli işletmelerde erkek oranı %84, orta ölçekli işletmelerde ise %92 olarak belirlenmiştir. Kadınların sektöre katılım oranının düşük olması (%12,5), süt sığırcılığı faaliyetlerinin bölgede ağırlıklı olarak erkekler tarafından yürütüldüğünü göstermektedir.

Eğitim durumu değerlendirildiğinde, katılımcıların önemli bir kısmının ilkökul (%39,3) ve lise (%37,5) mezunu olduğu görülmektedir. Yüksekokul mezunlarının oranı ise %12,5 düzeyinde kalmıştır. Bu bulgu, üreticilerin eğitim seviyesinin görece orta ve düşük düzeyde yoğunlaştığını ve bu durumun modern üretim tekniklerinin benimsenmesini etkileyebilecek bir faktör olabileceğini düşündürmektedir.

Tablo 2’de süt sığırcılığı ve/veya hayvancılıkla ilgili kurslar ve işletme faaliyetlerine ait sonuçlar verilmiştir.

Tablo 2’den de izlendiği gibi, süt sığırcılığı ve hayvancılıkla ilgili kurs veya seminerlere katılım oranı oldukça düşüktür. Genel olarak üreticilerin yalnızca %26,8’i eğitimlere katılmış, %73,2’si ise herhangi bir eğitime katılmamıştır. Bu durum, sektörde bilgi ve becerilerin çoğunlukla geleneksel yöntemlerle aktarıldığını ve eğitim düzeyinin yetersiz olduğunu göstermektedir. Eğitimlere katılım oranının düşük olması, üretimde verimlilik ve modern uygulamaların yaygınlaştırılmasında önemli bir kısıt olarak değerlendirilebilir. Süt sığırcılığı, üreticilerin büyük çoğunluğu için asıl iş (%87,5) konumundadır. Yalnızca %12,5’i süt sığırcılığını ek iş olarak yürütmektedir. Yani, süt sığırcılığı, incelenen işletmelerde esas geçim kaynağı durumundadır (Tablo 2).

Ankete katılan işletmelerde aile fert sayısı ve aktif olarak çalışan kişi sayısına ait sonuçlar Tablo 3’de verilmiştir.

Genel olarak süt sığırcılığı faaliyetine aileden katılan kişi sayısı en çok 2 kişidir (%41)r. Bunu 1 kişi (%23) ve 3 kişi (%18) izlemektedir. Dört ve üzeri katılım ise çok nadirdir. Yani süt sığırcılığı işletmeleri ağırlıklı olarak Niğde ilinde 1–3 aile bireyinin işgücü ile yürütülmektedir, en yaygın işgücü sayısı ise 2 kişidir.

Niğde ilinde süt sığırcılığı yapan işletmelerde aile fertlerinin sayısı Tablo 3’den izlendiği gibi çoğunlukla orta büyüklüktedir. Küçük ölçekli işletmelerde en yaygın aile büyüklüğü 5 kişi (%44) olup, bunu 4 kişi (%19) ve 6 kişi (%13) izlemektedir. Orta ölçekli işletmelerde de benzer şekilde en yaygın aile büyüklüğü 5 kişi (%42), ardından 4 kişi (%21) ve 3 kişi (%13) gelmektedir. Genel olarak aile fertlerinin çoğu 4–5 kişi arasında (%63) yoğunlaşmaktadır. Daha büyük aileler (7, 9 veya 15 kişi) oldukça nadirdir (%0,08). Süt sığırcılığı yapan işletmelerde aile büyüklüğü genellikle orta düzeyde (4–5 kişi) olup, işletme iş gücünün çoğunluğu aile bireylerinden sağlanmaktadır. Bu durum, aile işletmeciliğinin sektördeki ağırlığını göstermektedir.

Ankete katılan Niğde Merkez ve Bor ilçesindeki işletmelerin 2024 yılı hayvan varlıkları Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 1. Katılımcıların demografik özellikleri

Değişken	Kategori	Küçük Ölçek	Orta Ölçek	Genel
Yaş (Ort±SH)	-	$44,7 \pm 1,9$	$50,0 \pm 1,7$	$47,0 \pm 1,3$
Cinsiyet, n (%)	Erkek	27 (84,0)	22 (92,0)	49 (87,5)
	Kadın	5 (16,0)	2 (8,0)	7 (12,5)
Eğitim durumu, n (%)	İlkokul	11 (34,4)	11 (45,8)	22 (39,3)
	Ortaokul	1 (3,1)	3 (12,5)	4 (7,1)
	Lise	15 (46,9)	6 (25,0)	21 (37,5)
	Yüksekokul	4 (12,5)	3 (12,5)	7 (12,5)
	Diğer	1 (3,1)	1 (4,2)	2 (3,6)

Tablo 2. Süt sığırcılığı ve/veya hayvancılıkla ilgili eğitici kurs, seminerlere katılım oranı

Seminer/Kurs	Küçük Ölçek		Orta Ölçek		Genel	
	n	%	n	%	n	%
Evet	8	25,0	7	29,2	15	26,8
Hayır	24	75,0	17	70,8	41	73,2
Toplam	32	100	24	100	56	100
Süt sığırcılığı asıl işiniz mi						
Evet	28	87,5	21	87,5	47	87,5
Hayır	4	12,5	3	12,5	9	12,5
Toplam	32	100	24	100	56	100
Asıl işiniz değil ise asıl işiniz						
Tarım	1	3,1	1	4,2	2	3,6
Gıda	0	0,0	1	4,2	1	1,8
Memur	2	6,3	1	4,2	3	5,4





Tablo 3. Katılımcı ailelerinde hane halkı büyüklüğü ve süt sığırcılığına aktif katılan birey sayısı

Hane Halkı Sayısı	Küçük Ölçek		Orta Ölçek		Genel	
Kişi	n	%	n	%	n	%
2	2	6,25	4	16,67	6	10,71
3	2	6,25	3	12,50	5	8,93
4	6	18,75	5	20,83	11	19,64
5	14	43,75	10	41,67	24	42,86
6	4	12,50	2	8,33	6	10,71
7	2	6,25	0	0,00	2	3,57
9	1	3,13	0	0,00	1	1,79
15	1	3,13	0	0,00	1	1,79
Toplam	32	100,00	24	100,00	56	100,00
Süt sığırcılığına aktif katılan aile fert sayısı						
1	7	21,88	6	25,00	13	23,21
2	12	37,50	11	45,83	23	41,07
3	6	18,75	4	16,67	10	17,86
4	4	12,50	2	8,33	6	10,71
5	2	6,25	0	0,00	2	3,57
8	1	3,13	0	0,00	1	1,79
10	0	0,00	1	4,17	1	1,79
Toplam	32	100,00	24	100,00	56	100,00

Tablo 4. Niğde Merkez ve Bor ilçesindeki işletmelerin 2024 yılı hayvan varlıkları

Sürü	İşletme sayısı	Toplam	Ort.	Standart Sapma	Minimum	Maksimum	%
İnek sayısı	53	1460,0	27,5	24,4	5	150	40,4
Boğa	19	64,0	3,4	8,3	0	37	1,8
Erkek buzağı	50	461,0	9,2	8,7	1	52	12,7
Dişi Buzağı	52	596,0	11,5	11,9	1	70	16,5
Dana	40	463,0	11,6	10,1	2	60	12,8
Düve	47	474,0	10,1	10,5	0	60	13,1
Tosun	17	98,0	5,8	6,3	1	27	2,7
Buzağı Ölümü	38	172,0	4,5	4,3	1	18	16,3

Tablo 5. Buzağı bakımından sorumlu kişilerin işletme ölçeğine göre dağılımı

	Küçük Ölçek		Orta Ölçek		Genel	
	n	%	n	%	n	%
Bakıcılar	10	31,3	11	45,8	21	37,5
Kadın	13	40,6	9	37,5	22	39,3
Erkek	4	12,5	3	12,5	7	12,5
Çocuklar	5	15,6	1	4,2	6	10,7
İşçi						

İnekler sürü varlığının toplamın %40,4'ünü oluşturulmaktadır, düveler ise %13,1'dir. Bu, sürü yenilenmesi açısından nispeten iyi bir yapı göstermektedir; ancak düve sayısının artırılması ilerleyen yıllar için sürdürülebilirlik açısından son derece önemlidir. Boğa sayısı %1,8 ile düşük olması işletmelerin suni tohumlama hizmetlerinden faydalandığını göstermektedir. Buzağı ve dana sayıları bakımından sürüde genç hayvan oranının yeterli olduğu görülmektedir. Çalışmada 38 işletmede toplam 172 buzağının öldüğü belirlenmiştir (Tablo 4). Buzağı ölümlerinin azaltılması, sürü büyüklüğünün ve süt/et veriminin devamı için işletmelerde oldukça önemlidir. Bu kapsamda işletme sahiplerine, doğum öncesi ve sonrası bakım, besleme programlarının iyileştirilmesi, hijyen ve veteriner kontrollerin artırılması önerilebilir. Buzağı bakımından sorumlu kişilerin işletme ölçeğine göre dağılımı Tablo 5'de sunulmuştur.

Küçük ölçekli işletmelerde: erkekler (%40,6) ve kadınlar (%31,3) buzağı bakımında en çok rol alan gruplardır. İşçilerin oranı (%15,6) orta ölçeğe göre daha yüksektir, bu da küçük işletmelerde dışarıdan işçi desteğine zaman zaman ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Çocukların payı (%12,5) az da olsa dikkate değerdir; bu durum küçük aile işletmelerinde çocukların da iş gücüne katıldığını düşündürür. Orta ölçekli işletmelerde: kadınların payı artarak %45,8 ile en yüksek grubu oluşturmuştur. Erkekler %37,5 ile ikinci sırada yer almıştır. Çocukların katkısı yine %12,5'tir, yani ölçek fark etmeksizin benzer düzeyde kalmıştır. İşçi oranı ise %4,2'ye düşmüştür; bu da orta ölçekli işletmelerin aile emeğine daha çok dayandığını, işçi çalıştırma eğiliminin düşük olduğunu gösterir.





Genel olarak bakıldığında Niğde ilinde erkekler (%39,3) ve kadınlar (%37,5) arasında buzağı bakımındaki sorumluluk neredeyse eşittir. Çocukların payı sabit (%12,5) olup aile işletmeciliğinin bir göstergesidir. İşçilerin oranı (%10,7) sınırlı düzeydedir (Tablo 5); bu da buzağı bakımının daha çok aile bireyleri tarafından yapıldığını ortaya koymaktadır. Buzağı bakımında esas yük aile bireylerindedir. Küçük işletmelerde erkekler biraz daha öne çıkarken, orta ölçeklilerde kadınların daha çok sorumluluk aldığı görülmektedir. Çocukların katkısı her iki ölçekte de aynı seviyededir. İşçi kullanımı genel olarak düşük düzeyde kalmıştır.

Kuru Dönem Bakımı

Küçük ve Orta Ölçek olarak sınıflandırılan çiftliklerdeki inekler için kuru dönem süresinin dağılımı ve genel durumu Tablo 6'da verilmiştir. Kuru dönem süreleri üç kategoriye ayrılmıştır: 0-45 gün, 45-60 gün ve 60 günden fazla.

Kuru Dönem Süresi Dağılımı

0-45 gün: Küçük ölçek çiftliklerin %6,50'si, Orta ölçek çiftliklerin %8,70'i ve genel olarak çiftliklerin %7,40'ı inekleri için 0-45 gün kuru dönem süresi uygulamaktadır. 45-60 gün: Küçük ölçekli çiftliklerin %54,80'i, Orta ölçekli çiftliklerin %60,90'ı ve genel olarak çiftliklerin %57,40'ı inekleri için 45-60 gün kuru dönem süresi uygulamaktadır. Bu kategori hem küçük hem de orta ölçekli çiftliklerde ve genel olarak en yaygın uygulanan kuru dönem süresidir. Çalışmada küçük ölçekli çiftliklerin %38,70'i, orta ölçekli çiftliklerin %30,40'ı ve genel olarak çiftliklerin %35,20'si inekleri için 60 günden fazla kuru dönem süresi uygulamaktadır. Ankete katılan çiftliklerin büyük çoğunluğu (%57,40 genel) inekleri için 45-60 gün arasında bir kuru dönem süresi uygulamaktadır. Bu süre, hem küçük (%54,80) hem de orta ölçekli (%60,90) çiftliklerde en yaygın uygulamadır. Küçük ölçekli çiftliklerde (%38,70) bu oran orta ölçekli çiftliklere (%30,40) göre biraz daha yüksektir.

Tablo 6, anket yapılan çiftliklerde inekler için kuru dönem süresi uygulamalarının dağılımı hakkında net bir fikir vermektedir. Çiftliklerin büyük kısmının 45-60 gün kuru dönem süresini tercih ettiği, 60 günden fazla sürenin de önemli bir oran oluşturduğu görülmektedir.

Gebeliğin son dönemindeki düve ve ineklerde aşılama durumunun işletme ölçeğine göre dağılımı Tablo 7'de verilmiştir. Buna göre küçük ölçekli çiftliklerin %68,8'i, orta ölçekli çiftliklerin %29,2'si ($P<0,05$) ve genel olarak çiftliklerin %51,8'i gebeliğin son döneminde düve-ineğe aşı yapmaktadır. Diğer yandan küçük ölçekli çiftliklerin %31,3'ü, orta ölçekli çiftliklerin %70,8'i ve genel olarak çiftliklerin %48,2'si gebeliğin son döneminde düve-ineğe aşı yapmamaktadır. Gebeliğin son dönemindeki düve ve ineklerde aşılama durumunun işletme ölçeğine göre dağılımı Tablo 7'de verilmiştir. Ankete katılan çiftliklerin genelinde gebeliğin son döneminde düve-ineğe aşı yapma oranı (%51,8) yapma oranına (%48,2) göre biraz daha yüksektir. Anket yapılan popülasyonda gebeliğin son döneminde düve-ineğe aşı uygulamalarının ölçeklere göre farklılık gösterdiğini net bir şekilde ortaya koymaktadır.

Gebeliğin son dönemindeki düve ve ineklerde aşılama yapıyorum diyenlerin hangi aşıları yaptıklarına ait sonuçlar Tablo 8'de gösterilmiştir. Anket yapılan çiftliklerde genel olarak Corona virüsü, Kombine mastitis, E. coli ve Enterotoksemi aşılarının yapılma oranları, yapılıp yapılmama oranlarına kıyasla daha düşüktür. Bu aşılardan rutin olarak yaygın bir şekilde uygulanmadığı görülmektedir.

Küçük ölçekli çiftlikler, Corona virüsü ve Enterotoksemi aşılarını orta ölçekli çiftliklere göre istatistiksel olarak önemli düzeyde daha fazla uygulamaktadır. Bu durum, küçük ölçekli işletmelerin bu hastalıklara karşı önceden aktif olarak tedbir almaya daha yatkın veya farklı risk algılarına sahip olabileceğini düşündürmektedir.

Kombine mastitis ve E. coli aşısı ise her iki ölçekte de düşük uygulama oranlarına sahiptir ve ölçekler arasındaki fark istatistiksel olarak önemli değildir. Bu durum, bu aşılardan popülasyon genelinde yaygın bir uygulama olmadığını gösterir.

Tablo 6. İneklerde kuru dönem süresi uygulamalarının işletme ölçeğine göre dağılımı

	Küçük Ölçek		Orta Ölçek		Genel	
Kuru Dönem	n	%	n	%	n	%
0-45 gün	2	6,50	2	8,70	4	7,40
45-60 gün	17	54,80	14	60,90	31	57,40
60 günden fazla	12	38,70	7	30,40	19	35,20
Toplam	31	100,00	23	100,00	54	100,00

Tablo 7. İşletme ölçeğine göre gebeliğin son döneminde aşılama durumu

	Küçük Ölçek		Orta Ölçek		Genel	
Gebeliğin son dönemi	n	%	n	%	n	%
Evet	22	68,8%	7	29,2%	29	51,8%
Hayır	10	31,3%	17	70,8%	27	48,2%
Toplam	31	100,00%	23	100,00%	56	100,0%





Tablo 8. İşletme ölçeğine göre gebeliğin son döneminde uygulanan aşı türlerinin dağılımı

Corona virüs	Evet		Hayır	
Küçük Ölçek	17	53,1	15	46,9
Orta Ölçek	6	25,0	18	75,0
Toplam	23	41,1	33	58,9
P<:0,03, X: 4,402				
Kombine mastitis-3	Evet		Hayır	
Küçük Ölçek	10	31,3	22	68,8
Orta Ölçek	4	16,7	20	83,3
Toplam	14	25,0	42	75,0
ÖD: P>0,175, X: 1,528				
E. coli-4	Evet		Hayır	
Küçük Ölçek	7	21,9	25	78,1
Orta Ölçek	2	8,3	22	91,7
Toplam	9	16,1	47	83,9
ÖD: P>0,160, X: 1,831				
Enterotoksemi- 5	Evet		Hayır	
Küçük Ölçek	12	37,5	20	62,5
Orta Ölçek	1	4,2	23	95,8
Toplam	13	23,2	43	78,6
P<0,003, X: 8,396				

Tablo 9. İşletme ölçeğine göre gebeliğin son dönemindeki hayvanlara uygulanan destekleyici bakım ve sağlık uygulamalarının dağılımı

	Küçük Ölçek		Orta Ölçek		Genel	
Vitamin enjeksiyonu	n	%	n	%	n	%
Evet	16	50,0	11	45,8	27	48,2
Hayır	16	50,0	23	54,2	29	51,8
P>0,485, X: 0,095						
Ademin/yeldif						
Evet	8	25,0	10	41,7	18	32,1
Hayır	24	75,0	24	58,3	34	67,9
P>0,151, X: ,715						
Ca/P						
Evet	2	6,3	0	00	2	3,6
Hayır	30	93,8	24	100	54	96,4
P>0,501, X: 1,528						
D vitamini						
Evet	5	15,6	3	12,5	8	14,3
Hayır	27	84,4	21	87,5	48	85,7
P>0,020, X: 0,107						

Tablo 9'da gebeliğin son döneminde hayvanlara yapılan destekleyici bakım ve sağlık uygulamaları ile ilgili bilgiler verilmiştir. Genel olarak işletmelerin yaklaşık %48,2'si vitamin enjeksiyonu yaparken, %51,8'i yapmamaktadır. Bu değer bakımından küçük ve orta ölçekli işletmeler arasında fark istatistiki bir fark yoktur (P>0,485).

Genel olarak Ademin/yeldif uygulamasını %32,1'si yaparken, %67,9'u yapmamaktadır. Bu oran küçük ölçeklilerde %25, orta ölçeklilerde %41,7'dir. Elde edilen farklılık istatistiki olarak önemsiz (P>0,151) bulunmuştur. Bu uygulamayı sınırlı sayıda işletme yapmakta ve çoğu işletme (%67,9) bu uygulamayı yapmamaktadır.

İşletmelerde Ca/P uygulamasını yapanların oranı %3,6, yapmayanların oranı ise %96,4'dür (P>0,501). İşletimlerde genel olarak D vitamini uygulayanların oranı %14,3 ve uygulamayanların oranı ise %85,7'dir (P<0,020).

İşletmelerin yaklaşık yarısı (%48,2) vitamin enjeksiyonu yaparken, Ademin/Yeldif uygulaması %32,1 ve Ca/P desteği %3-14 arasında değişen çok düşük oranlarda kalmıştır. Küçük ve orta ölçekli işletmeler arasında bu uygulamalarda anlamlı bir fark gözlenmemiştir. Genel olarak, gebeliğin son döneminde destek uygulamalarının sınırlı olduğu, bu durumun hem anne ineklerin hem de buzağların sağlık ve metabolik durumları açısından potansiyel riskler oluşturabileceği görülmektedir.





Buzağı Büyütme ve Beslemesi

Buzağılara ağız sütü içirme sıklığı, miktarı ve süresine ait sonuçlar Tablo 10'da sunulmuştur. Genel olarak işletmelerin %98,2'si buzağıya doğar doğmaz ilk 1 saat içinde ağız sütü vermektedir. Küçük ölçekli işletmelerde bu oran %96,9, orta ölçeklilerde ise %100'dür. Saptanan farklılık istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur ($P>0,750$).

Tablo 10. İşletme ölçeğine göre buzağının doğum sonrası ilk bir saat içinde ağız sütü alma durumu ve verilen miktarın dağılımı

	Küçük Ölçek		Orta Ölçek		Genel	
Buzağının doğar doğmaz ilk bir saat içinde ağız sütü alıyorlar mı	n	%	n	%	n	%
Cevaplar						
Evet	31	96,9	24	100	55	98,2
Hayır	1	3,1	0	00	1	1,8
$P>0,750$, X: 0,71						
Buzağının doğar doğmaz ilk 1 saat içinde kaç kg ağız sütü alıyor						
1 kg	1	3,1	1	4,2	2	3,6
2 kg	25	78,1	20	83,3	45	80,4
3 kg	4	12,5	2	8,3	6	10,7
4 kg	2	6,3	1	4,2	3	5,4
$P>0,364$, X: 0,963						
Buzağılara ilk 3 gün ağız sütü veriyor musunuz ?						
Evet	31	96,9	23	95,8	54	96,4
Hayır	1	3,1	1	4,2	2	3,6
$P>0,042$, X: 0,678						
Ağız sütünü günde kaç defa veriyorsunuz						
2 defa	25	71,8	54	100	49	87,5
3 defa	7	21,9	0	000	7	12,5
$P>0,015$, X: 5,893						
Doğumdan sonra ilk 3 gün ağız sütünü günde kaç kg veriyorsunuz						
Bilmiyorum	4	12,5	0	0,00	4	7,1
5 kg	22	68,8	22	91,7	44	78,6
6 kg	5	15,6	1	4,2	6	10,7
6 kg fazla	1	3,1	1	4,2	2	3,6
$P>0,131$, X: 5,639						

Buzağılar doğar doğmaz ilk 1 saat içinde 2 kg ağız sütü verenler %80,4 ile en yaygın uygulama olurken bunu 3 kg, %10,7, 1 kg, %3,6 ve 4 kg ile %5,4 takip etmiştir. Küçük ve orta ölçekli işletmeler arasında fark önemsizdir ($P>0,364$). Çoğu işletimde buzağıya doğumdan hemen sonra ve genellikle 2 kg ağız sütü verilmektedir. Bu uygulama, buzağının pasif bağışıklık kazanımı ve ilk sağlık durumları için ideal bir uygulama olarak değerlendirilebilir. Ankete katılan çiftçilerin %96,4'ü genel olarak işletmelerinde buzağıya ilk 3 gün ağız sütü vermektedir. Bu oranlar işletme ölçeğine göre küçük ölçekli işletmelerde %96,9 ve orta ölçeklilerde %95,8'dir. İşletme ölçeğine göre gözlenen bu fark istatistiki olarak önemlidir ($P<0,042$). Buzağılara ağız sütünü günde 2 defa verenlerin %87,5, günde 3 defa verenlerin oranı %12,5'dir. Küçük ve orta ölçekli işletmeler arasında gözlenen fark istatistiki olarak önemli ($P<0,05$) bulunmuştur.

Tablo 11'de buzağılara verilen buzağı başlangıç yemi, su verme zamanı ile ilgili sonuçlar sunulmuştur.

Genel olarak işletmelerin %80,4'ünün doğumdan sonra buzağıya başlangıç yemi verdiği belirlenmiştir. Buzağı başlangıç yemi verme uygulaması küçük ölçeklilerde %78,1 ve orta ölçeklilerde %83,3 olarak belirlenmiştir. İşletme ölçeği açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($P>0,446$). İşletmelerin buzağı başlangıç yemine %21,4'ü 3. günde, %25,0'i bir hafta içinde ve %28,5'i 2-3 hafta içerisinde başlarken %25'inin ise hiç yanıt vermediği belirlenmiştir (Tablo 11).

Buzağıya su verme uygulamaları bakımında işletmeler arasında bir fark saptanmamıştır. Bu çeşitlilik, erken dönemde rumen gelişimi ve yem tüketimi açısından eşitsizlik yaratabilir. İşletmelerin buzağılara daha erken ve tutarlı su verme uygulamalarının teşvik edilmesi faydalı olacaktır. En yaygın su verme zamanının küçük işletmelerde %35,7 oranı ile 20. günde, orta işletmelerde %28,26 ile 30. günde olduğu saptanmıştır. Genel olarak buzağılara ilk defa su verme zamanı oldukça farklılık göstermektedir; çoğunluk 20. gün civarında su vermeye başlamaktadır. Bu çeşitlilik erken rumen gelişimi ve yem tüketimini etkileyebilir (Tablo 12). Ancak, su verme zamanının düzenlenememesi, buzağının sindirim sistemi gelişimini yavaşlatabilir ve erken dönemde yem tüketiminde düşüklüğe yol açabilir. Bu nedenle tüm işletmelerde suyun erken dönemde verilmesi konusunda farkındalık artırılmalıdır.

Kolostrum sütünün buzağıya verilmesi, sütün sıcaklığı ile ilgili bilgiler Tablo 12'de özetlenmiştir.





Tablo 11. İşletme ölçeğine göre buzağı besleme uygulamalarının (başlangıç yemi ve su verme zamanı) dağılımı

	Küçük Ölçek		Orta Ölçek		Genel	
	n	%	n	%	n	%
Doğumdan sonra buzağı başlangıç yemi veriyor musunuz?						
Evet	25	78,1	20	83,3	45	80,4
Hayır	7	21,9	4	16,7	11	19,6
P>0,446, X: 0,236						
Evet ise ne zaman veriyorsunuz?						
Cevap yok	9	21,8	5	20,8	14	25,0
3 gün sonra	6	18,8	6	25,0	12	21,4
1 hafta sonra	6	18,8	8	33,3	14	25,0
2-3 hafta sonra	11	34,4	5	20,8	16	28,6
P>0,460, X: 2,589						
Doğumdan 3 gün sonra buzağıya su vermeye başlıyor musunuz?						
Evet	17	53,1	33	54,2	30	53,6
Hayır	15	46,9	11	45,8	26	46,4
P>0,577, X: 0,006						
Daha sonra veriyorum diyenlerin su verme zamanı						
7. gün	3	21,4	1	14,3	4	19,0
10 .gün	1	7,1	0	0,0	1	4,8
15.gün	3	21,4	1	14,3	4	19,0
20.gün	5	35,7	1	14,3	6	28,6
30.gün	2	14,3	2	28,6	4	19,0
45.gün	0	0,00	2	28,6	2	9,5
P>0,306, X: 6,00						

Tablo 12. İşletme ölçeğine göre buzağıya ağız sütünün verilme şekli ve ısıtılarak verilme durumunun dağılımı

	Küçük Ölçek		Orta Ölçek		Genel	
	n	%	n	%	n	%
Buzağıya ağız sütünü anadan sağdıktan sonra mı veriyorsunuz?						
Evet	23	71,9	23	95,8	46	81,1
Hayır	9	28,1	1	4,2	2	17,9
P>0,032, X: 5,367						
Sonradan veriyorsanız ısıtıyor musunuz?						
Hayır	23	71,9	23	95,8	46	82,1
Evet	9	28,1	1	4,2	10	17,9
P>0,021, X: 5,367						

Buzağların doğumdan hemen sonra ağız sütünü alması, bağışıklık kazanması ve yaşama gücü için kritik öneme sahiptir. Çalışmada, işletmelerin %81,1'i buzağıya ağız sütünü annesinden doğar doğamaz verdiğini belirtmiştir. Özellikle orta ölçekli işletmelerde bu oran oldukça yüksektir (%95,8), bu da daha bilinçli ve sistematik bir uygulamaya işaret etmektedir (P<0,032). Ancak küçük ölçekli işletmelerde %28,1 gibi kayda değer bir oranla bu uygulamanın yapılmadığı görülmektedir. Bu durum, buzağların pasif bağışıklık kazanamaması, hastalıklara duyarlılığın artması ve ölüm oranlarının yükselmesi açısından önemli bir risk oluşturmaktadır. Dolayısıyla küçük ölçekli işletmelerde, ağız sütü uygulamalarının doğru zamanlama ve yeterli miktar açısından iyileştirilmesi gerekmektedir.

Buzağların beslenmesi ve sütten kesilmesine ait sonuçlar Tablo 13'te özetlenmiştir.

Süt sığırcılığı yapan işletmelerin çoğunluğunda (%80,0) buzağıya doğumdan 1 hafta sonra kuru ot vermeye başlandığı belirlenmiştir. İşletmelerin çok az bir kısmı doğumdan 3 gün sonra (%10,0) kuru ot vermeye başlamaktadır. Küçük ve orta ölçekli işletmeler arasında uygulama bakımından önemli fark (P>0,287) saptanamamıştır. Genel olarak işletmeler buzağıya kuru otu uygun bir zamanlama olan ilk hafta içinde vermeye başlamakta ve bu da rumen gelişimi açısından olumlu bir uygulamadır. Üreticiler buzağıya kuru otu farklı sürelerde vermeye başlamakta, ancak çoğunluk 30. gün civarında kuru ot vermeye başlamaktadır. Bu değişkenlik, rumen gelişimi ve buzağların kuru yem tüketimine başlaması açısından farklı sonuçlar doğurabilir. Erken ve tutarlı kuru ot başlatma uygulamaları, buzağların sindirim sistemi gelişimi için önemlidir.

İşletmelerin neredeyse tamamı buzağlarını sütle beslemektedir (%98,2). Küçük ölçekli işletmelerde sadece bir kişi mama kullanmış (%3,1), orta ölçeklilerde ise kullanan hiç yoktur. Buzağı beslemede süt temel kaynak olup, mama kullanımı yok denecek düzeydedir (%18). Bu durum ekonomik koşullar ve geleneksel alışkanlıklarla açıklanabilir (Tablo 13).





Tablo 13. İşletme ölçeğine göre buzağuların beslenmesi ve sütten kesim uygulamalarının dağılımı

	Küçük Ölçek		Orta Ölçek		Genel	
	n	%	n	%	n	%
Buzağıya kaç günlükken kuru ot vermeye başlıyorsunuz						
Doğumdan 3 gün sonra	1	20,0	0	0,00	1	10,0
Doğumdan 1 hafta sonra	3	60,0	5	100	8	80,0
Daha sonra ise belirt	1	20,0	0	00	1	10,0
P>0,287, X: 2,500						
Daha sonra ise belirtiniz						
10. gün	1	4,0	0	0,0	1	2,5
15. gün	3	12,0	5	33,3	8	20,0
20. gün	2	8,0	2	13,3	4	10,0
25. gün	4	16,0	1	6,7	5	12,5
30. gün	5	20,0	4	26,7	9	22,5
45. gün	4	16,0	0	0,0	4	10,0
50. gün	1	4,0	0	00	1	2,5
60. gün	5	20,0	2	13,3	7	17,5
90. gün	0	0,0	1	6,7	1	2,5
P>0,364, X: 8,743						
Buzağıyı kaç günlük iken sütten kesiyorsunuz						
60	2	6,3	3	12,5	5	8,9
75	11	34,4	9	37,5	20	35,7
90	18	56,3	10	41,7	28	50,0
Daha sonra	1	3,1	2	8,3	3	5,4
P>0,590, X: 1,915						
Buzağı sütten kesildiğinde kaç gr kesif yem tüketiyor						
Bilmiyorum	19	59,4	15	62,5	31	60,7
600-700 g	1	3,1	0	00	1	1,8
100-1500 g	11	34,4	7	29,2	18	32,1
Diğer	1	3,1	2	8,3	3	5,4
P>0,663, X: 1,582						
Süt/mama ile besleme						
Sütle besliyorum	31	96,9	24	100	55	98,2
Mama ile besliyorum	1	3,1	0	00	1	1,8
P>0,571, X: 0,764						

Tablo 13'ten görüldüğü gibi genel olarak buzağuların yarısı (%50,0) 90 günlükken sütten kesilmektedir. Bunu 75 günlük (%35,7) yaşta sütten kesenler izlemektedir. Daha erken (60 gün) sütten kesenler az (%8,9), daha geç kesenler ise çok sınırlı (%5,4) sayıda işletmeyi kapsamaktadır. Küçük ve orta ölçekli işletmeler arasında belirgin fark yoktur (P>0,590). Genel olarak çiftçilerin çoğunluğu buzağuları 75–90 gün arasında sütten kesmektedir. Bu süre, genel kabul gören buzağı yetiştirme uygulamalarıyla uyumlu olup, erken sütten kesim (60 gün) ve geç sütten kesim uygulamaları sınırlı düzeydedir.

İşletmelerin büyük çoğunluğu (%60,7) buzağının sütten kesildiğinde ne kadar kesif yem tükettiğini bilmemektedir. Yaklaşık %32,1'i 1000–1500 g tükettiğini belirtmişken bunu 600–700 g diyenler izlemiştir (%1,8), diğer yanıtlar ise sınırlı (%5,4) sayıda işletmeden oluşmaktadır. Küçük ve orta ölçekli işletmeler arasında sütten kesimde tüketilen yem miktarı bakımından istatistik bir fark saptanmamıştır (P>0,663). Sonuç olarak çiftçilerin çoğu buzağuların sütten kesim dönemindeki yem tüketim miktarını takip etmemekte, bu da besleme yönetiminde önemli bir bilgi eksikliğine işaret etmektedir.

Buzağuların beslenmesi konusunda teknik destek alımı ve hangi kaynaklardan olduğuna ilişkin sonuçlar Tablo 14'te sunulmuştur.

Genel olarak işletmelerin %74,4'ü buzağı beslenmesi konusunda teknik destek almazken, sadece %28,6'sı teknik destek almaktadır. Küçük ölçekli işletmelerde teknik destek alma oranı %40,6 iken, orta ölçeklilerde bu oran oldukça düşük (%12,5) bulunmuştur (P<0,05). İşletme ölçeğinin teknik destek alma isteğini etkilediği söylenebilir.

Diğer yandan küçük ölçekli işletmeler, orta ölçeklilere kıyasla buzağı beslenmesinde teknik destek almaya daha yatkın gözükmektedir. Ancak her iki grupta da çoğunluk teknik destekten yoksundur. Bu durum, buzağuların beslenme yönetiminde bilgi eksikliğine ve hatalı uygulamalara yol açabilir.





Tablo 14. İşletme ölçeğine göre buzağı besleme konusunda teknik destek alma durumu ve destek kaynaklarının dağılımı

	Küçük Ölçek		Orta Ölçek		Genel	
	n	%	n	%	n	%
Buzağların beslenmesi konusunda teknik destek alıyor musunuz?						
Hayır	19	59,4	21	87,5	40	74,4
Evet	13	40,6	3	12,5	16	28,6
P>0,035, X: 5,316						
Evet ise kimden						
Almıyorum	20	62,5	19	79,2	39	69,6
Ziraat Mühendisi	3	9,4	1	4,2	4	7,1
Veteriner hekim	7	21,9	4	16,7	11	19,6
Diğer Çiftçiler	1	3,1	0	0,0	1	1,8
Sosyal Medya (tv, internet vs)	1	3,1	0	0,0	1	1,8
P>0,599, X: 2,75						

Genel olarak teknik destek almayan işletmelerin oranı %69,6'dır. Küçük ölçekli işletmelerde bu oran %62,5 iken, orta ölçeklilerde %79,2'ye çıkmaktadır. Bu durum işletme ölçeği büyüse bile teknik danışmanlık almama eğilimin devam ettiğini gösteriyor. Veteriner Hekimden destek alanlar genel toplamda %19,6'dır. Veteriner hekimlerden alınan teknik destek (%20 civarı) az da olsa önemli bir kaynaktır, fakat yeterli değildir. Ziraat mühendislerinin katkısı daha düşük düzeydedir. Sosyal medya bilgi kanalları (sosyal medya, internet) neredeyse hiç kullanılmıyor. Bu tablo, bilgi transferi ve yayım faaliyetlerinin yetersiz olduğunu ortaya koymaktadır. Çiftçiler büyük oranda kendi bilgi ve deneyimlerine dayalı kararlar almaktadır. Bu da buzağı sağlığı, barınak hijyeni ve sürdürülebilir hayvancılık açısından risk oluşturabilir.

Buzağı Barınakları

İşletmelerde buzağların bölmelerine alınma durumu incelendiğinde küçük ölçekli işletmelerde %96,8 ve orta ölçekli işletmelerde ise bu oran %75'tir (P<0,035) (Tablo 15).

Genel olarak işletmeler buzağı doğar doğmaz bireysel bölmeye almaktadır (%87,3). Bu durum, hijyen ve hastalık kontrolü açısından olumlu bir yaklaşımdır. Buzağı bölmeleri ineklerle aynı yerde değil diyenlerin oranı küçük işletmelerde %77,4, orta ölçekli işletmelerde ise %75,0'dır.

İşletmelerin çoğunluğu (%30,9) buzağı barınaklarının ahırdan 5–10 m uzata olduğunu bildirmişlerdir. İşletmelerin %34,6'sı ise 10 m'den daha uzağa konumlandırmıştır. Bu da hastalık bulaşma riskini azaltma yönünde olumlu bir sonuçtur. Küçük ölçekli işletmelerde buzağı kulübelerini daha fazla uzakta tutma eğilimi görülmektedir.

Niğde ilinde süt sığırcılığı işletmelerinde buzağların süttten kesilene kadar bireysel bölmede tutulması (%58,2) en yaygın uygulamadır. Buzağı kulübesinde 2 ay süreyle tutanların oranı %20, 1 ay diyenlerin oranı ise %7,3'tür. Bu sonuç, işletmelerin çoğunun modern buzağı yetiştirme protokollerine yakın uygulama yaptığını göstermektedir.

İşletmeler arasında en yaygın buzağı grup büyüklüğü 4–6 baş (%60), %21,8'i 6–10 baş ve çok azı daha fazla sayıda (%5,5) buzağıyı grup olarak yetiştirmektedir. Grup büyüklüğünün makul seviyelerde tutulması, buzağı sağlığı ve yemleme kontrolü açısından uygun bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir.

İşletmelerin büyük çoğunluğunda altlık için saman tercih edilmektedir (%94). Talaş (%4) ve kauçuk (%2) kullanımı çok sınırlı kalmıştır. Saman ucuz ve yaygın bir malzeme olduğundan bu sonuç beklenen bir durumdur. Ancak hijyen ve nem kontrolü açısından talaş gibi alternatiflerin az kullanılması dikkat çekicidir.

Buzağı kulübelerinde kullanılan malzeme bakımından, küçük ölçekli işletmelerde en çok diğer malzemeler (demir, sac, briket) tercih edilirken (%51,6), orta ölçeklilerde daha çok tahta (%54,2) ve plastik (%29,2) tercih edilmektedir. Genel olarak bakıldığında tahta malzeme %43,6 ile öne çıkmaktadır. Bu bulgu, orta ölçekli işletmelerin daha uygun malzemeler kullandığını, küçük ölçeklilerin ise daha çok mevcut imkânlarla kendi çözümlerini geliştirdiğini göstermektedir. İstatistiksel olarak anlamlı farklılık özellikle buzağı bölme malzemesinde (P<0,05) görülmektedir; bu da işletme ölçeğinin kullanılan malzemeyi etkilediğini göstermektedir.

Buzağı beslemede teknik destek sağlama ve kolostrum (ağız sütü) kalitesinin belirlenmesine ilişkin sonuçlar Tablo 16'da sunulmuştur.

Genel olarak işletmelerin %71,4'ü buzağların beslenmesi konusunda teknik destek alırken, %28,6'sı herhangi bir destek almadığını ifade etmiştir.

Buzağı büyütme konusunda küçük ölçekli işletmelerde teknik destek alma oranı %59,4, orta ölçeklilerde %87,5'dir. İşletme ölçeğine göre gözlenen farklılıklar istatistiki olarak önemsizdir (P>0,527). Çoğu işletme buzağı beslemesinde teknik destek almaktadır, ancak küçük ölçekli işletmelerde bu oranın orta ölçeklilere göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu durum, küçük işletmelerde besleme uygulamalarında profesyonel rehberlikten daha az yararlandığını göstermektedir. Genel olarak işletmelerin %98,2'si kolostrumun (ağız sütü) kalitesini değerlendirmiyor, sadece %1,8'i değerlendiriyor (P>0,750). Çoğu işletmede kolostrum kalitesinin





değerlendirilmemesi, buzağların pasif bağışıklık kazanımı açısından kritik bir eksiklik. Bu durum, özellikle bağışıklık yetersizliği ve hastalık riskini artırabilir.

Tablo 15. İşletme ölçeğine göre buzağı barınak yönetimi ve barınak özelliklerinin dağılımı

Barınak	Küçük Ölçek		Orta Ölçek		Genel	
	n	%	n	%	n	%
Buzağıyı doğar doğmaz ayrı bölmelere alıyor musunuz?						
Hayır	1	3,2	6	25	7	12,7
Evet	30	96,8	18	75,0	48	87,3
P>0,035, X: 5,774						
Buzağı bölmeleri ineklerle aynı ahırda mı ?						
Hayır	24	77,4	18	75,0	13	23,6
Evet	7	22,6	6	25,0	42	76,4
P>0,541, X: 0,044						
Dışarda ise ahırdan uzaklığı ne kadar						
Bildirmedim	7	22,6	7	29,2	14	25,5
2 m	1	3,2	1	4,2	2	3,6
3-5 m	0	0,0	2	8,3	2	3,6
5-10 m	9	29,0	8	33,3	17	30,9
10 fazla m	14	45,2	6	25,0	20	34,6
P>0,350, X: 4,440						
Buzağlar ne kadar süre bireysel buzağı bölmelerinde kalıyor						
Bildirmedim	3	9,7	5	20,0	8	14,5
1 ay	4	12,9	0	0,0	4	7,3
2 ay	7	22,6	4	16,7	11	20,0
Sütten kesilene kadar	17	54,8	15	62,5	32	58,2
P>0,201, X: 4,627						
Buzağlar sütten kesildikten sonra, buzağı grup bölmelerine kaç buzağı bir arada konuluyor						
Belirtmedi	3	9,7	4	16,7	7	12,7
4-6 baş	17	54,8	16	66,7	33	60
6-10 baş	9	29,0	3	12,5	12	21,8
Daha fazla	2	6,5	1	4,2	3	5,5
P>0,447, X: 2,659						
Buzağlar için hangi yataklık malzemesini kullanıyorsunuz						
Saman	26	92,7	21	95,5	47	94,0
Odun Talaşı	2	7,1	0	0,0	2	4,0
Diğer (Kavuçuk)	0	0,0	1	4,5	1	2,0
P>0,240, X: 2,853						
Buzağı bölmeleri hangi malzemeden yapılmıştır						
Tahta	11	35,5	13	54,2	24	43,6
Plastik	4	12,9	7	29,2	11	20,0
Diğer (demir, sac ve briket)	16	51,6	4	16,4	20	36,4
P>0,025, X: 7,414						

Tablo 16. İşletme ölçeğine göre buzağı beslemede teknik destek alma durumu ve kolostrum (ağız sütü) kalitesinin değerlendirilmesi

	Küçük Ölçek		Orta Ölçek		Genel	
	n	%	n	%	n	%
Buzağı beslemede teknik destek alma durumu						
Evet	19	59,4	21	87,5	40	71,4
Hayır	13	40,6	3	12,5	16	28,6
P>0,527, X: 5,520						
Kolostrumun (Ağız sütü) kalitesini değerlendiriyor musunuz?						
Evet	1	31,4	0	0,0	1	1,8
Hayır	31	96,9	24	100	55	98,2
P>0,750, X: 0,571						





Buzağı Sağlığı Yönetimi

İşletme ölçeğine göre buzağı sağlığı izleme ve sağlık yönetimi uygulamalarına ait sonuçlar Tablo 17’de verilmiştir. Genel olarak işletmelerin sadece %21,8’i buzağuların büyümesini ve sağlığını izlerken, %78,2’si herhangi bir bilgisi olmadığını bildirmiştir. Küçük ölçekli işletmelerde büyüme ve gelişmeyi takip etme oranı %25,8 ve orta ölçeklilerde %16,7’dir ($P>0,317$).

İşletmelerin karşılaştığı en yaygın sağlık sorunları arasında buzağı ishali en yaygın sorun olup, genel olarak buzağuların %61,8’i ishal problemi yaşamaktadır. Solunum enfeksiyonu ikinci sırada (%25,5) yer almaktadır. İshal + Solunum enfeksiyonu kombinasyonu %3,6, İshal + Solunum enfeksiyonu + Göbek enfeksiyonu çok nadir (%1,8), İshal + Büyüme geriliği ve diğer kombinasyonlar sınırlı oranda görülmektedir. Sorun yok diyenler sadece %1,8 oranındadır. Buzağılarda en yaygın sağlık sorunu ishal olup, ardından solunum enfeksiyonları gelmektedir.

Çiftliğinizde buzağı ve ineklerin sağlığı konusunda düzenli olarak bir veterinerden hizmet alınıp alınmadığı sorulduğunda hiç cevap vermeyenlerin oranı %9,1’dir. Devamlı veteriner hekim hizmeti var diyenler %9,1, hayvanlar hastalandıkça veteriner hekim çağırınlar ise %60,0’dır. Bu durum, önleyici sağlık uygulamalarının işletmeler tarafından sınırlı uygulandığını ve çoğu işletmenin ancak ihtiyaç olduğunda sağlık sorunlarına reaksiyon gösterdiği belirlenmiştir. Niğde ilinde işletmelerin buzağı sağlığı sorunlarını önlemeye yönelik yaptığı uygulamalar Tablo 18’de belirtilmiştir.

Tablo 17. İşletme ölçeğine göre buzağı sağlığı izleme ve sağlık yönetimi uygulamaları

Sağlık	Küçük Ölçek		Orta Ölçek		Genel	
	n	%	n	%	n	%
Buzağuların büyümesini ve sağlığını izliyor musunuz						
Evet	8	25,8	4	16,7	12	21,8
Hayır	23	74,2	20	83,3	43	78,2
$P>0,317$, X: 0,662						
Buzağuların karşılaştığı en yaygın sağlık sorunları nelerdir?						
Sorun yok	1	3,2	0	0,0	1	1,8
İshal	16	51,6	18	75,0	34	61,8
Solunum enfeksiyonu	1	3,2	3	12,5	14	25,5
İshal ve Solunum enfeksiyonu	11	0,0	2	8,3	2	3,6
İshal, Solunum enfeksiyonu ve Göbek enfeksiyonu	0	0,0	1	4,2	1	1,8
İshal ve Solunum enfeksiyonu, Büyüme geriliği	0	6,5	0	0,0	2	3,6
İshal ve Büyüme geriliği	1	3,2	0	0,0	1	1,8
$P>0,082$, X: 10,976						
Çiftliğinizde buzağı ve ineklerin sağlığı konusunda düzenli olarak bir veterinerden hizmet alıyor musunuz?						
Cevap yok	3	9,7	2	8,3	5	9,1
Devamlı veteriner var	3	9,7	2	8,3	5	9,1
Haftada bir	0		0	0,0		
2 haftada	0		0	0,0		
3-4 hafta	1	3,2	0	0,0	1	1,8
Hayvanlar Hastalandıkça	15	48,4	1	4,2	33	60,0
Devamlı veteriner var ve Haftada Bir var	1	3,2	18	75,0	1	1,8
Devamlı veteriner var, 3-4 hafta, Hayvanlar Hastalandıkça	1	3,2	0	0,0	1	1,8
Devamlı veteriner var ve Hayvanlar Hastalandıkça	7	22,6	2	4,2	8	14,5
Hayvanlar Hastalandıkça ve 3-4 hafta	0	0,0	1	1,4	1	1,8
$P>0,297$, X: 8,418						

Tablo 18. İşletme ölçeğine göre buzağı sağlığı sorunlarını önlemeye yönelik uygulama kombinasyonları

Sağlık	Küçük Ölçek		Orta Ölçek		Genel	
	n	%	n	%	n	%
Değişkenler						
1,2,3	6	0,19	0	0,00	6	0,11
1,2,3,4	16	0,52	2	0,08	18	0,33
1,2,4	1	0,03	0	0,00	1	0,02
1,3	0	0,00	1	0,04	1	0,02
1,3,4	0	0,00	2	0,08	2	0,04
2,3	4	0,13	5	0,21	9	0,16
2,3,4	2	0,06	7	0,29	9	0,16
2,4	0	0,00	1	0,04	1	0,02
3	2	0,06	4	0,17	6	0,11
3,4	0	0,00	2	0,08	2	0,04
Genel	31	1	24	1	55	1

1: Düzenli aşılar, 2: Ağız sütü yönetimi, 3: Temizlik ve hijyenin sürdürülmesi, 4: Besin takviyelerinin sağlanması





En yaygın buzağı sağlığı önlem kombinasyonu (%33) olan 1, 2, 3 ve 4 (düzenli aşılar + ağız sütü yönetimi + temizlik/hijyen + besin takviyeleri) olandır. Sadece temel üçlü kombinasyon 1, 2 ve 3 olanların oranı %11 iken ağız sütü ve hijyen (2,3) ya da diğer kombinasyonların oranı %16 civarında, 2, 3 ve 4 kombinasyonunu uygulayanların oranı da %11'dir.

İşletmeler çoğunlukla çoklu önlem kullanmakta, özellikle düzenli aşılar, ağız sütü yönetimi ve hijyen öne çıkmaktadır. Besin takviyesi ise daha sınırlı uygulanmaktadır. Bu durum, buzağı sağlığının korunmasında önleyici uygulamaların kısmen benimsendiğini, ancak tüm işletmelerde sistematik bir yaklaşımın henüz yaygın olmadığını göstermektedir.

Aşılar Ve Vitamin, Mineral Takviyeleri

Genel olarak işletmelerin doğumdan 1 gün sonra buzağılara aşı yapma oranı %67,3'dür. Hayır diyenlerin oranı ise %21,9, cevap vermeyenlerin oranı da %3,6'dır. Küçük ölçekli işletmelerde uygulama oranı %74,4 ve orta ölçeklilerde ise %54,2'dir. (Tablo 19).

Doğumdan 1 gün sonra aşı yapılan buzağılarda en yaygın aşı E. coli septisemi aşısı olup, genel olarak %90,6 oranında uygulanmaktadır. Trikofiti (mantar) aşısı çok daha az, sadece %9,4 oranında yapılmaktadır. Küçük ve orta ölçekli işletmeler arasında dağılımın benzer olduğu saptanmıştır. *Escherichia coli* aşısı küçük ölçeklerde %90, orta ölçeklerde %91,7; trikofiti aşısı sırasıyla %10 ve %8,3'dür. Doğumdan 1 gün sonra aşı uygulaması yapan işletmelerde öncelik E. coli septisemi aşısına verilmiş. Trikofiti aşısı nadiren uygulanmakta, bu da mantar enfeksiyonlarına karşı koruma uygulamalarının sınırlı olduğunu göstermektedir.

Genel olarak buzağılara 21. gün civarında solunum aşısı yapanlar %41,8, yapmayanlar %52,7, cevapsız %5,5'dir. Küçük ölçekli işletmelerde buzağılara 21. gün civarında solunum aşısı yaptıranlar %54,8 u, orta ölçeklilerde %26,1'dir. İşletme ölçeğine göre fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($P<0,023$). Küçük ölçekli işletmelerde 21. gün solunum aşı uygulaması daha yaygın iken, orta ölçekli işletmelerde bu uygulama sınırlıdır. Bu durum, solunum hastalıklarına karşı erken bağışıklık sağlama açısından işletme ölçekleri arasında belirgin farklılık olduğunu göstermektedir.

Tablo 19. İşletme ölçeğine göre doğum sonrası dönemde buzağılara uygulanan aşı programları

Aşı zamanı	Küçük Ölçek		Orta Ölçek		Genel	
	n	%	n	%	n	%
Doğumdan 1 gün sonra buzağılara aşı yapılıyor mu?						
Cevapsız	0	00	2	8,3	2	3,6
Evet	24	74,4	13	54,2	37	67,3
Hayır	7	22,6	9	37,5	16	21,9
$P>0,095$, X: 4,706						
Doğumdan 1 gün sonra buzağılara aşı yapılıyor mu? Evet ise						
Trikofiti (<i>trichophytosis</i>)-Mantar	2	10,0	1	8,3	3	9,4
E.coli Septisemi aşısı	18	90,0	11	91,7	29	90,6
$P>0,690$, X: 0,025						
Buzağı 14 günlük iken 2.Trikofiti (Mantar aşısı) yapılıyor mu?						
Cevap yok	1	3,2	2	8,3	3	3,6
Evet	7	22,6	9	37,5	16	29,1
Hayır	23	43,8	13	54,2	36	65,5
$P>0,285$, X: 2,511						
Buzağı 21 günlük iken solunum aşıları yapılıyor mu						
Cevap yok	0	0,00	3	12,5	3	5,5
Evet	17	54,8	6	26,1	23	41,8
Hayır	14	45,2	15	62,5	29	52,7
$P<0,023$, X: 7,526						
Cevap yok						
Evet	26	83,9	21	87,5	47	85,5
Hayır	5	16,1	3	12,5	8	14,5
Aşı zamanı	Küçük Ölçek		Orta Ölçek		Genel	
Buzağı 42 günlük iken 2. solunum aşıları yapılıyor mu?						
Cevap yok	0	0,00	3	12,5	3	5,5
Evet	17	54,8	5	20,8	22	40,0
Hayır	14	45,2	16	66,7	30	54,5
$P<0,011$, X: 8,933						





Tablo 20. Buzağılarda önerilen aşı programlarının işletme ölçeğine göre uygulanma durumu

Aşılar	Evet	Hayır	Cevapsız	Genel
Buzağı 50 günlük iken Leptospira aşısı yapılıyor mu?	n 4	51	-	55
	% 7,3	92,7	-	100,0
Buzağı 60 günlük iken Trichoben (mantar) aşısı yapılıyor mu?	n 5	50	-	55
	% 9,1	90,9	-	100,0
Buzağı 74 günlük iken 2. Kez Trichoben (mantar) aşısı yapılıyor mu?	n 4	51	-	55
	% 7,3	92,7	-	100,0
Buzağı 78-80 günlük iken Leptospira aşısı tekrar yapılıyor mu?	n 5	50	-	55
	% 9,1	90,9	-	100,0
6 ayda bir solunum aşıları yapılıyor mu?	n 22	31	2	55
	% 40,0	56,4	3,6	100,0
Buzağı 75 günlük iken (SYN BAX, coglavax), kolostradial aşılar, Çelermeye aşısı yapılıyor mu?	n 23	31	1	55
	% 41,8	56,4	1,8	100,0
Buzağı 90 günlük iken Şap aşısı yapılıyor mu?	n 53	1	1	55
	% 96,4	1,8	1,8	100,000
Şap aşısı 6 ayda bir tekrar yapılıyor mu?	n 55	0	-	55
	% 100,0	0,0	-	100,0
Buzağı 90 günlük iken sadece dişi buzağılara Brucella aşısı yapılıyor mu?	n 53	2	-	55
	% 96,4	3,6	-	100,0
Buzağı 96 günlük iken ikinci Çelermeye aşısı yapılıyor mu	n 24	31	-	55
	% 45,0	53,0	2,0	100,0
Buzağı 100 günlük iken BIOBOS IBR solunum aşısı yapılıyor mu?	n 19	33	3	55
	% 34,5	60,0	5,5	100,0
Buzağı 120 günlük iken BIOBOS IBR solunum aşısının 2.si yapılıyor mu?	n 19	34	2	55
	% 34,5	61,8	3,6	100,0
142 günlük iken LSD çiçek aşısı (yılda bir kez) yapılıyor mu?	n 11	42	2	55
	% 20,0	76,4	3,6	100
180 günlük iken Brucella aşısı sadece dişilere yapılıyor mu?	n 53	2	-	55
	% 96,4	3,6	-	100

Genel olarak buzağılara 42. gün civarında 2. solunum aşısı yapanlar %40, yapmayanlar %54,5, cevapsız %5,5'dir. Küçük ölçekli işletmelerde %54,8 uygulanırken, orta ölçeklilerde %20,8 uygulanmaktadır. Küçük ölçekli işletmelerde ikinci solunum aşısı uygulaması daha yaygın iken, orta ölçekli işletmelerde bu uygulama sınırlıdır. Bu durum, ikinci doz aşı ile tam bağışıklık sağlama açısından işletmeler arasında farklılık olduğunu göstermektedir.

Niğde ilinde süt sığırcılık işletmeleri için önerilen aşı takviminin uygulanıp uygulanmadığına dair sonuçlar Tablo 20'de sunulmuştur. Bu uygulamalar arasında Şap aşısı ve Brucella aşısı (sadece dişi buzağılara) yüksek oranlarda (%96'nın üzerinde) yapılmaktadır. Özellikle Şap aşısının 6 ayda bir tekrarı da neredeyse tamamen yaygındır (%100).

Bununla birlikte, Leptospira, Trichoben (mantar), Solunum aşıları (BIOBOS IBR özelinde), Kolostradial aşılar ve Çelermeye aşıları gibi diğer aşılarda anket yapılan işletmelerde daha az yaygın veya uygulamada farklılıklar göstermektedir. Bu aşılarda rutin programlara dahil edilme oranları daha düşüktür (bazıları için %20-%45 civarı, bazıları için yapılmama oranı %90'ın üzerinde) ve net bir standardın olmadığını düşündürmektedir (Tablo 20).

Genel olarak, anket verileri Şap ve Brucella aşılarının anket yapılan işletmelerde buzağı aşı programının temel taşları olduğunu, diğer aşılarda ise daha değişken ve işletmeler arasında tam olarak standartlaşmamış uygulamalara sahip olduğunu göstermektedir.

İşletmelerin kuru dönem ile buzağı bakım, besleme ve sağlığına ilişkin uygulamalar hakkında daha fazla bilgi edinme isteğine ilişkin sonuçlar Tablo 21'de verilmiştir.

Tablo 21. İneklerin kuru dönemi ile buzağı bakım, besleme ve sağlığına ilişkin uygulamalar hakkında daha fazla bilgi edinme isteğinin işletme ölçeğine göre dağılımı

Aşı zamanı	Küçük Ölçek		Orta Ölçek		Genel	
	n	%	n	%	n	%
Evet	26	83,9	21	87,5	47	85,5
Hayır	5	16,1	3	12,5	8	14,5

p>0,508, X: 0,143





Genel olarak işletmelerin %85,5'inin ineklerin kuru dönemi ve buzağı bakım, besleme ve sağlığı ile ilgili daha fazla bilgi almak istediği saptanmıştır. İşletme ölçeğine göre daha fazla bilgi talebi küçük ölçekli işletmelerde %83,9 iken orta ölçekli işletmelerde ise %87,5 olduğu belirlenmiştir ($P>0,508$). Bu durum, üreticilerin bilgiye açık olduğunu ve uygulamalarda iyileştirme potansiyeli olduğunu göstermektedir.

Tartışma

Demografik yapı

Çalışmada Niğde ili Merkez ve Bor ilçelerinde süt sığırcılığı yapan işletme sahiplerinin yaş ortalamasının küçük ölçekli işletmelerde 44,7 yaş, orta ölçekli işletmelerde 50,0 yaş olduğu saptanmıştır. Katılımcıların genel olarak orta yaş grubunda yoğunlaşması, kırsal hayvancılıkta deneyimin önemli bir belirleyici olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, Niğde bölgesinde üreticilerin çoğunlukla orta yaş ve üzeri bireylerden oluştuğunu bildiren Ceyhan ve ark. (2025) sonuçları ile uyumludur.

Ankete katılanların cinsiyet dağılımı incelendiğinde üretimin büyük oranda erkekler tarafından yürütüldüğü (%87,5) söylenebilir. Bu sonuç, Kaygısız ve ark. (2023) kırsal üretim yapısının halen erkek egemen olduğunu bildiren çalışmasıyla benzerlikler göstermektedir.

İşletmelerin eğitim düzeyi incelendiğinde işletme sahiplerinin çoğunluğunun ilkökul (%39,3) ve lise (%37,5) mezunu olduğu, yükseköğretim oranının ise düşük (%12,5) kaldığı saptanmıştır. Bu durum, modern üretim tekniklerinin kabul edilmesini sınırlayabilecek önemli bir faktördür olabilir. Kozat (2019) ve Azkur & Aksoy (2018), düşük eğitim düzeyinin buzağı büyütmede özellikle kolostrum yönetimi ve buzağı sağlığı uygulamalarında bilgi eksikliğine yol açtığını bildirmiştir.

Mesleki eğitim veya kurslara katılım oranının yalnızca %26,8 olması, sektörde yayım ve eğitim faaliyetlerinin yetersiz olduğunu ifade etmektedir. Bu durum Aydoğdu & Karslı (2020) tarafından da desteklenmiş, eğitilmiş üreticilerin performans ve sağlık yönetiminde daha başarılı olduğu belirtilmiştir.

Aile yapısı ve işgücü

İşletmelerin çoğunluğunun 1–3 aktif aile bireyiyle yürütülmesi ve en yaygın modelin 2 kişi olması, süt sığırcılığının aile emeğine dayalı bir sistem olduğunu göstermektedir. Bu yapı, kırsal alandaki hayvancılık işletmelerinin küçük ölçekli ve geleneksel üretim karakterini ortaya koymaktadır.

Sürü yapısı ve buzağı ölümleri

İneklerin toplam sürü içindeki payının %40,4 olduğu, buzağı ölümlerinin ise %16,3 seviyesinde gerçekleştiği saptanmıştır. Avcioğlu ve ark. (2024), Türkiye genelinde buzağı ölüm oranlarının %19,3'e kadar çıkabildiğini bildirmiştir. Çalışmadaki oran bu değerlerle uyumlu olup bölgedeki kayıpların önemli bir ekonomik sorun olduğunu göstermektedir. Aksakallı ve ark. (2026), buzağı ölümlerinin en önemli nedenleri arasında yetersiz bakım, hijyen eksikliği ve kolostrum yönetimi gibi faktörlerin önemli olduğunu vurgulamıştır. Bu sonuçlar, mevcut çalışmadaki yüksek ölüm oranını açıklamaktadır.

Buzağı bakım uygulamaları

Buzağı bakımında sorumluluğun erkek (%39,3) ve kadın (%37,5) bireyler arasında dengeli dağıldığı görülmektedir. Çocukların (%12,5) katkısı ise aile işletmeciliğinin yaygınlığını göstermektedir.

Buzağılara doğumdan hemen sonra ağız sütü verilme oranının %98,2 olması oldukça olumlu bir bulgudur. Erdem & Atasever (2005) ile Kozat (2019), ilk saat içinde verilen kolostrumun pasif bağışıklık için kritik olduğunu vurgulamaktadır. Ayrıca Metin Kıyıcı & Sevişoğlu (2022), kolostrum kalitesinin ırk ve yönetim faktörlerine bağlı değişebileceğini vurgulamışlardır. Buna Niğde ilindeki işletmelerin yalnızca %1,8 oranında kolostrum kalitesini değerlendiriyor olması önemli bir eksiklik ve Kozat, (2019) neonatal hastalık riskini artırdığı buluşu ile konunun önemini ortaya koymaktadır.

Besleme ve yönetim uygulamaları

Buzağların büyük çoğunluğuna (%87,5) günde 2 kez ağız sütü verilmesi yaygın bir uygulamadır. Ancak su verme ve başlangıç yemi uygulamalarında önemli değişkenlik olduğu belirlenmiştir. Şahal ve ark. (2018), erken su tüketiminin rumen gelişimi ve sindirim sistemi olgunlaşması açısından kritik olduğunu belirtmiştir. Başlangıç yemi uygulamasının %80,4 oranında yapılması olumlu olmakla birlikte zamanlama farklılıkları yönetim eksikliğine işaret etmektedir.

Buzağı sağlığı

Buzağılarda en yaygın sağlık sorununun ishal (%61,8) olduğu belirlenmiştir. Bu bulgu Sayber & Kabu (2021) ve Şahal ve ark. (2018) ile benzerlikler göstermiştir. İshal ardından solunum yolu hastalıkları (%25,5) gelmektedir. Veteriner hizmetlerinin çoğunlukla hastalık sonrası alınması (%60), koruyucu hekimlik yaklaşımının yeterince benimsenmediğini göstermektedir. Azkur & Aksoy (2018), düzenli veteriner kontrolünün buzağı hastalıklarını önemli ölçüde azalttığını vurgulamaktadır.





Aşılama ve koruyucu sağlık uygulamaları

Şap (%96,4) ve Brucella (%96,4) aşılarının yüksek oranda uygulanması, ulusal aşılama programlarıyla uyumludur. Hadimli (2020), bu aşılarda sürü sağlığı açısından temel koruyucu uygulamalar olduğunu belirtmiştir. Buna karşılık Leptospira, Trichoblen ve solunum aşılarının düşük ve değişken oranlarda uygulanması, standart bir aşılama protokolünün tam olarak yerleşmediğini göstermektedir. Erdem ve ark. (2020), entegre aşılama programlarının buzağı kayıplarını azaltmada kritik rol oynadığını vurgulamaktadır.

Barınak ve çevresel yönetim

Buzağların %87,3 oranında bireysel bölmelere alınması buzağı büyütmede sağlık takibi ve hijyen açısından olumlu bir uygulamadır. Erdem ve Atasever (2005), bireysel barınak sistemlerinin enfeksiyon riskini önemli ölçüde azalttığı sonucu da oldukça önemlidir. Barınak malzemelerinde ölçekler arası farklılıklar gözlenmiş, orta ölçekli işletmelerin daha modern materyallere yöneldiği belirlenmiştir. Bu durum işletme ölçeğinin teknoloji adaptasyonunu etkilediğini göstermektedir.

Çalışma bulguları, Niğde bölgesinde süt sığırcılığı işletmelerinin temel bakım uygulamalarında belirli bir bilinç düzeyine sahip olduğunu ancak özellikle eğitim, kolostrum değerlendirme, veteriner hizmetleri ve standart besleme protokollerinde eksiklikler bulunduğunu göstermektedir.

Avcıoğlu ve ark. (2024) ve Aksakallı ve ark. (2026), buzağı kayıplarının azaltılmasında en kritik faktörlerin doğru kolostrum yönetimi, hijyen ve düzenli sağlık kontrolü olduğunu belirtmiştir. Bu bulgular mevcut çalışma ile doğrudan örtüşmektedir.

Sonuç

Bu çalışma, Niğde ili Merkez ve Bor ilçelerinde süt sığırcılığı yapan küçük ve orta ölçekli işletmelerde buzağı yetiştiriciliği, sürü yönetimi ve sağlık uygulamalarını değerlendirmiştir. Elde edilen bulgular, işletmelerin genel olarak yeterli hayvan varlığına ve üretim potansiyeline sahip olmasına rağmen, yönetim ve uygulama düzeyinde önemli bilgi ve uygulama eksiklikleri bulunduğunu ortaya koymuştur.

İşletmelerde buzağı ölüm oranının %12–16 arasında değişmesi, özellikle küçük ölçekli işletmelerde daha yüksek olması, sürü yönetimi ve koruyucu sağlık uygulamalarındaki yetersizlikleri açıkça göstermektedir. Bu durum, bölgedeki hayvancılık işletmelerinde sürdürülebilirliği önemli ölçüde engelleyen sorunlardan biridir.

Buzağı bakımında olumlu bir durum olarak, doğumdan sonraki ilk 1 saat içinde ağız sütü verilme oranının oldukça yüksek olması (%98,2) dikkat çekmektedir. Ancak verilen miktarların büyük oranda 2 kg ile sınırlı kalması, pasif bağışıklık düzeyi açısından risk oluşturabilecek bir uygulamadır. Buna karşın, su ve başlangıç yemi uygulamalarında standartlaşma bulunmaması, rumen gelişimi ve erken dönem yem tüketimi üzerinde olumsuz etkiler yaratabilecek önemli bir eksikliktir.

Gebeliğin son döneminde aşılama oranlarının orta düzeyde olması (%51,8) ve özellikle küçük işletmelerde daha yüksek oranlara ulaşması, koruyucu hekimlik uygulamalarının işletme ölçeğine göre değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, vitamin ve mineral destek uygulamalarının düzensiz ve standart dışı olması, sürü sağlığının sürdürülebilirliği açısından önemli bir zayıflık olarak belirlenmiştir.

Demografik yapı incelendiğinde, işletme sahiplerinin çoğunlukla orta yaş grubunda olması, düşük eğitim düzeyi ve sınırlı mesleki eğitim oranı, modern hayvancılık uygulamalarının benimsenmesini kısıtlayan temel faktörler arasında yer almaktadır. Ayrıca bakım ve besleme faaliyetlerinin büyük ölçüde aile bireyleri tarafından yürütülmesi, profesyonel iş gücü kullanımının sınırlı olduğunu göstermektedir.

Bu bulgular ışığında, Niğde bölgesinde süt sığırcılığı işletmelerinin sürdürülebilirliği ve verimliliğinin artırılması için aşağıdaki temel stratejilerin uygulanması gerekmektedir:

Sürü yönetimi ve kayıt sistemlerinin standardize edilmesi

Buzağı bakım ve besleme uygulamalarında eğitim programlarının yaygınlaştırılması

Kuru dönem aşılama protokollerinin ve kolostrum kalite kontrolünün zorunlu hale getirilmesi

Buzağılara su ve başlangıç yemi uygulamalarının erken ve standart şekilde uygulanması

Barınak koşullarının iyileştirilmesi ve hijyen standartlarının yükseltilmesi

Suni tohumlama ve genetik iyileştirme uygulamalarının yaygınlaştırılması

Sonuç olarak, Niğde bölgesinde buzağı kayıplarının azaltılması için klinik tedaviden önce buzağı bakım ve sağlık yönetiminin gözden geçirilmesi gereklidir. Özellikle "Kuru Dönem Aşılama Protokolleri" ve Kolostrum kalitesinin değerlendirilmesi gibi uygulamaların yaygınlaştırılması, bölgedeki %16'lık ölüm oranını tek haneli rakamlara indirmek için temel strateji olmalıdır.

Beyanlar

Etik Onay Belgesi

Bu çalışmanın niteliği gereği hayvan deneyi içermemektedir. Bu nedenle Hayvan Deneyleri Etik Kurulu onayı gerekli değildir.





Yazar Katkı Beyanı

Ayhan Ceyhan, Sibel Canoğulları Doğan: Veri toplama, araştırma, biçimsel analiz ve ilk taslak yazımı
Ahmet Şekeroğlu, Sema Yaman Fırıncioğlu: Proje yönetimi, danışmanlık, kavramsallaştırma, metodoloji, gözden
geçirme ve düzenleme, Ayhan Ceyhan, Sibel Canoğulları Doğan: Veri toplama ve araştırma

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder

Teşekkür

Bu çalışmanın yürütülmesi sürecinde sağladıkları idari ve teknik destekler ile katkılarından dolayı Niğde İli
Damızlık Sığır Yetiştiricileri Birliği'ne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Aksakallı, D., Şenol, F., & Ergün, O. F. (2026). Buzağı ölümlerinin başlıca nedenleri ve alınabilecek önlemler. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, DOI: 10.5281/zenodo.19384735.
- Avcioğlu, Ü., Aksoy, A., Bilgiç, A., Aktaş, M. S., & Tunç, M. A. (2024). Calf mortality in Turkish dairy farms: Economic impact, regional disparities, and farm-level drivers. *Preventive Veterinary Medicine*, 230, 106279.
- Aydoğdu, M., & Karşı, M. A. (2020). Canlı maya kültürü kullanmanın süt emen simental buzağılarda performans ve sağlık üzerine etkileri. *Van Veterinary Journal*, 31(1), 1-6.
- Azkur, A. K., & Aksoy, E. (2018). Buzağı hastalıklarında koruyucu önlemler. *Lalahan Hayvancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 58(Özel Sayı), 56-63.
- Ceyhan, A., Şekeroğlu, A., & Yaman Fırıncioğlu, S. (2025). *Niğde merkez ve Bor ilçesindeki süt sığırcılığı işletmelerinde sürü yapısı ve buzağı bakım uygulamaları: "Buzağı Anneleri Arıyoruz"*. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Yayınları.
- Erdem, H., & Atasever, S. (2005). Yeni doğan buzağılarda kolostrumun önemi. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(2), 79-84.
- Erdem, H., Çiftçi, E., Işık, M. K., & Yorgancılar, M. Ü. (Ed.). (t.y.). *Buzağı kayıplarının önlenmesinde buzağı sağlığı ve yetiştiriciliği*. T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı KOP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı.
- Hadimli, H. H. (t.y.). Süt inekleri ve buzağılar için aşılama programları. H. Erdem ve ark. (Ed.), *Buzağı kayıplarının önlenmesinde buzağı sağlığı ve yetiştiriciliği* içinde (s. 105-112). KOP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı.
- Kaygısız, A., Aydın, R., & Özdemir, C. Y. (2023). Gümüşhane ili Torul ilçesi süt sığırcılığı işletmelerinde buzağı yetiştirme ile ilgili yönetsel uygulamalar. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(1), 713-725.
- Kozat, S. (2019). Yenidoğan buzağılarda kolostrum yönetiminin önemi. *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*, 14(3), 343-353.
- Metin Kırıyıcı, J., & Sevişoğlu, B. (2022). Farklı sığır ırklarında kolostrum kalitesinin araştırılması. *Journal of Animal Science and Products (JASP)*, 5(1), 40-47.
- Sayber, G., & Kabu, M. (2021). Effects of two different immunomodulators on calf diarrhea in neonatal calves. *Kocatepe Veterinary Journal*, 14(1), 193-200.
- Şahal, M., Terzi, O. S., Ceylan, E., & Kara, E. (2018). Buzağı ishalleri ve korunma yöntemleri. *Lalahan Hayvancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 58(Özel Sayı), 41-49.





Poultry Production and Consumption True-Price Accounting in Ethiopia

Getachew Legese Feye¹, Tamrat Gebiso Challa², Tadele Mamo³, Samuel Diro⁴ and Temesgen Jembere⁴

¹International Livestock Research Institute (ILRI), Addis Ababa, Ethiopia

²Private Consultant, Addis Ababa, Ethiopia

³Ethiopian Institute of Agricultural Research, Socioeconomics Research Directorate, Addis Ababa, Ethiopia

⁴Ethiopian Institute of Agricultural Research, Holeta Agricultural Research Center, Holeta, Ethiopia

Abstract

In Ethiopian agriculture, poultry farming plays a significant role in balancing nutrition and creating jobs. The structure, production methods, economic performance, and externality costs of poultry farming in Ethiopia are analyzed in this study, with a particular emphasis on broiler and layer production in four urban and peri-urban areas surrounding Addis Ababa. Almost half of the poultry farms are located in Addis Ababa, while the rest are found around Bishoftu and Adama. Large-scale operations are uncommon in broiler production, which is dominated by medium-sized farms (58%) that use deep litter systems (96%). Ethiopian egg production is comparatively animal welfare-friendly when compared to caged systems that are prevalent elsewhere, since layer production is primarily small-scale (67%), with less than 1,000 birds per farm and a similar predilection for deep litter housing. The result further shows that both broiler and layer (table-egg) production farms are financially viable. Emissions of greenhouse gases (GHGs), mostly from the production of feed and the handling of manure, are the main source of external costs. GHGs are responsible for 71% of environmental costs in egg production, while manure management alone is responsible for 59% in broiler farming. The second biggest environmental burden is air pollution. Despite being lower, social costs are nevertheless substantial and are mostly caused by health hazards and underpayment. The cost shares of gender discrimination and child labour are negligible. Current prices understate the full social cost of poultry products when market and external costs are taken into account. Market pricing only makes up a portion of the true price, which is \$0.199 per egg and \$4.99 per kilogram of chicken meat. Though it has high hidden environmental and social costs, Ethiopian poultry production is often characterised by small- and medium-scale, welfare-friendly systems. Sustainable sector development requires reducing these externalities through better management of feed and manure, energy efficiency, labour standards, and market openness.

Keywords: Broiler; Layer; True cost, True price, Environmental cost; Green gas emission; Social cost

Introduction

Raising chickens plays a vital role in reducing poverty and promoting economic development, particularly for resource-poor households. In Ethiopia, especially in cereal-producing regions where protein deficiency is common, poultry farming contributes significantly to addressing malnutrition (Dessie et al., 2003). Beyond its nutritional benefits, poultry production is crucial for national economic growth. It serves important social, cultural, and religious purposes and enhances food security, generates income, creates jobs, and lifts households out of poverty (Alemayehu et al., 2018).

Poultry products, particularly meat and eggs, are nutritionally rich and represent some of the most balanced sources of animal protein essential for human health (Perić et al., 2011). Driven by population growth, urbanisation, and rising living standards, Ethiopia's demand for poultry products is steadily increasing. Despite this growing demand, the poultry sector remains small and underdeveloped, though promising signs of expansion are evident.

According to FAOSTAT (2025), Ethiopia recorded its lowest poultry population ever in 2021, with around 41 million birds. Since then, the population has rebounded to approximately 55 million, primarily consisting of scavenging chickens along with commercial layers and broilers, with broilers making up the majority of the commercial segment. Furthermore, the poultry population has been growing at an accelerating rate since then (see Figure 1).

Poultry farming is accessible to a wide range of socioeconomic groups, from landless rural residents to urban entrepreneurs, due to its relatively low capital investment and space requirements (Wilson, 2021). However, national consumption of poultry remains extremely low, with per capita chicken meat consumption at just 0.6 kg per year, significantly below the Sub-Saharan African average of 2.3 kg (USDA Foreign Agricultural Service, 2017). Likewise, per capita egg consumption is only 0.34 kg (WorldAtlas, 2025).

Poultry production in Ethiopia is almost exclusively limited to chickens (*Gallus domesticus*), with other domesticated birds such as ducks, turkeys, and geese rarely present. Indigenous breeds dominate the sector, accounting for more than 90% of the chicken population, while hybrid and exotic breeds make up only 4.7% and 4.3%, respectively (Fekadu et al., 2022). Backyard production remains the dominant system, involving more than 95% of national output, with most households keeping between five and six chickens (Sime, 2022).



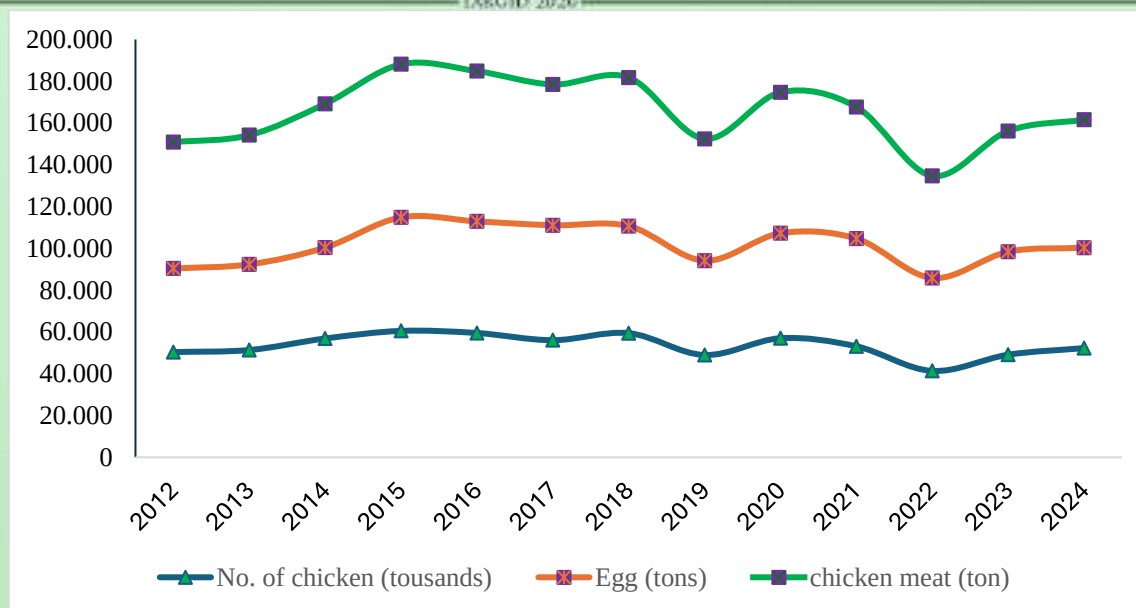


Figure 1. Poultry population, chicken meat, and eggs production trends in Ethiopia

Poultry production systems in Ethiopia are categorized into four types based on scale and management intensity (Urgesa, 2023):

1. **Large-scale commercial systems:** Intensive operations with exotic breeds, advanced housing, structured feeding, health care, and strict biosecurity.
2. **Medium-scale commercial systems:** Moderate flocks, improved breeds, structured housing, and basic veterinary services.
3. **Small-scale commercial systems:** small flocks, dual-purpose breeds, minimal inputs, and limited access to health and technology services.
4. **Village/backyard systems:** Low-input, scavenging-based systems relying on indigenous breeds with limited or no formal management.

These classifications reflect the diversity and complexity of poultry farming in Ethiopia (FAO, 2019; Woldegiorgiss et al., 2017).

Despite its growth, the poultry sector faces sustainability challenges. Conventional intensive systems are resource-intensive and associated with environmental degradation, water pollution, and the development of antimicrobial resistance due to the widespread use of antibiotics (Bist et al., 2024; Bourn et al., 2005; Gržinić et al., 2023). Globally, concerns about the sustainability of intensive poultry production have led to calls for more ecologically sound, economically viable, and socially responsible production systems (Castro et al., 2023; Leinonen & Kyriazakis, 2016). Sustainability in chicken production systems is vital not only for preserving natural resources and reducing environmental impact, but also for ensuring animal welfare and poultry farmers' livelihoods (Castro et al., 2023; Jez et al., 2011; Vaarst et al., 2015). The health of humans and animals is threatened due to antimicrobial resistance that is developed by the growth promoters of antibiotics (Castanon, 2007; Ma et al., 2021).

Sustainable poultry farming is defined by the integration of environmental stewardship, economic resilience, and social responsibility (Brundtland & Khalid, 1987; Vaarst et al., 2015). It aims to harmonize four interdependent pillars:

- Environmental sustainability: Reducing ecological footprints, conserving resources, and managing waste and emissions effectively.
- Economic viability: Ensuring profitability, market adaptability, and financial resilience for producers.
- Social responsibility: Upholding animal welfare, fair labor practices, and community engagement (Bist et al., 2024; Valentin & Spangenberg, 2000).
- Technical sustainability: Ensuring efficient and effective production systems (Lynch et al., 2021; Vaarst et al., 2015).

Sustainable poultry farming promotes the welfare of present and future generations by addressing four interrelated foundations (Figure 2).



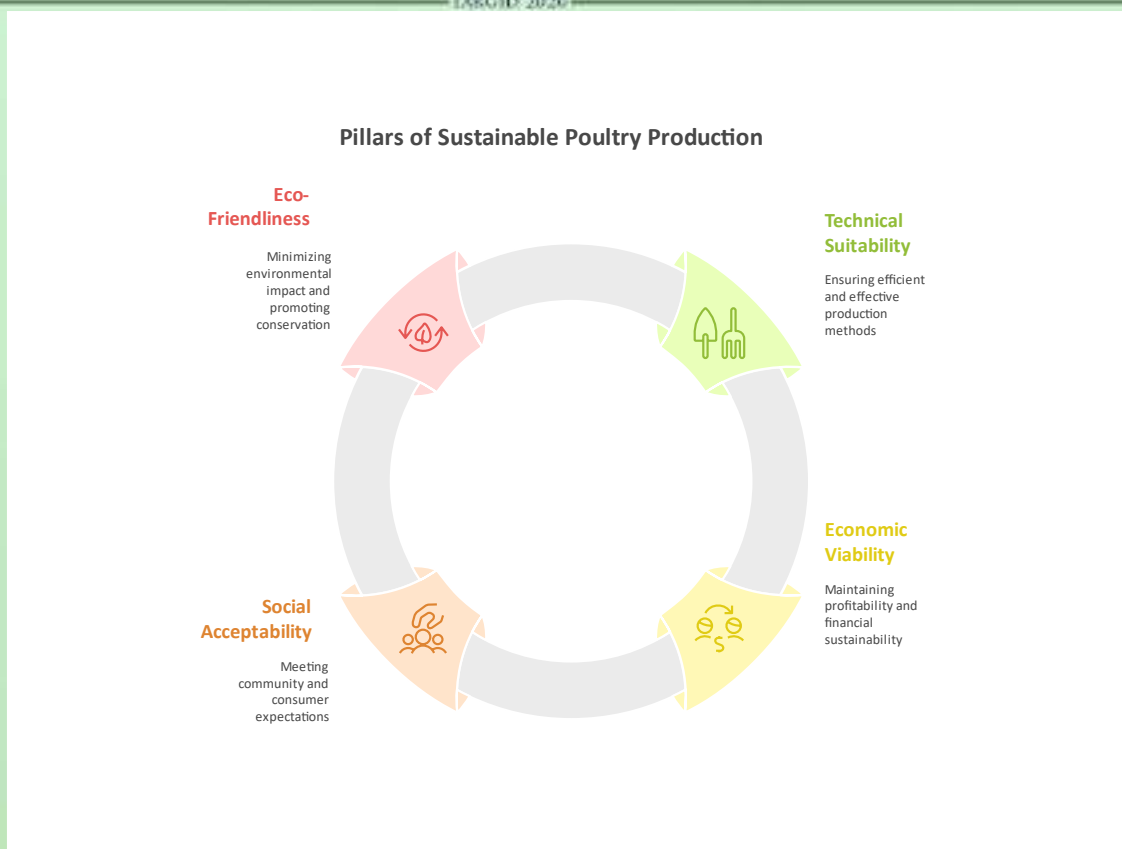


Figure 2. The four pillars of sustainable poultry production (Lynch et al., 2021)

Poultry production generates relatively low greenhouse gas (GHG) emissions compared to other livestock systems, contributing only 0.64% of agricultural GHG emissions due to its efficient feed conversion rates. However, it still poses significant environmental threats (Vaarst et al., 2015). This is because large-scale poultry operations produce significant amounts of waste, including ammonia and nitrous oxide, which can pollute water sources and contribute to global warming (Seidavi et al., 2019; WANG et al., 2017).

To address these multifaceted challenges, a more comprehensive evaluation framework is required, one that extends beyond productivity and profitability. Recent scholarship increasingly emphasizes holistic tools that account for ecological, social, and human health impacts when assessing food systems (Baker et al., 2020). A promising approach in this regard is True Pricing, which quantifies the externalities of production, such as environmental damage or labor violations, and incorporates them into the final product cost (Davidsen et al., 2021; Galgani, Woltjer, De Toorop, & De Groot Ruiz, 2021). Unlike conventional market pricing, true pricing seeks to internalize costs currently borne by society or the environment, thereby aligning prices more closely with a product's actual impact.

Building on a rights-based interpretation of the UN Guiding Principles on Business and Human Rights, true pricing monetises environmental and social externalities, such as GHG emissions, air pollution, scarce water use, land degradation, underpayment, and health and safety risks, and adds them to market prices to obtain a “true price” of products (Galgani et al., 2023; True Price Foundation & Impact Economy Foundation, 2020). Although TCA has been applied to several food commodities, to our knowledge, there are no empirical true pricing assessments of poultry products in Ethiopia and very few in sub-Saharan Africa.

This study addresses this gap by applying a cradle-to-grave true cost accounting framework to commercial poultry production in central Ethiopia, following Life Cycle Assessment, among other methodologies (Arendt et al., 2020). Using primary data from broiler and layer farms and secondary data on emission factors and monetization coefficients, we quantify environmental and selected social externalities of broiler meat and egg production and express them as product-level true prices. Specifically, we (i) characterise the structure and economic performance of commercial broiler and layer farms; (ii) quantify environmental footprints for key impact categories (GHG emissions, air pollution, scarce water use, land occupation and land transformation, and fossil fuel depletion) alongside social externalities (underpayment, insufficient income, health and safety risks, child labour and gender discrimination); (iii) monetise these externalities and compare true prices with observed market prices; and (iv) identify priority leverage points to reduce external costs in Ethiopia and in similar rapidly expanding poultry sectors in low- and middle-income countries.





Research methodology

A rights-based approach, which assesses external costs using accepted frameworks and principles about social and environmental justice, is the foundation of the true pricing methodology. The concept of monetizing the environmental and social externalities is embedded in Article 22 of the Guiding Principles on Business and Human Rights (UN OHCHR, 2011). The "true price gap", which accounts for external costs not currently included in market transactions, is added to the market price to determine the true price of a good or service. The following four categories of remediation costs are taken into consideration when evaluating external costs using a systematic framework: (1) Restoration: the expenses necessary to return social or environmental circumstances to their pre-crisis level. (2) Compensation: expenses incurred to fairly compensate impacted communities or individuals. (3) Prevention of recurrence: measures or investments to stop comparable injuries in the future, and (4) Retribution: punishments or corrective actions taken in reaction to transgressions or injuries inflicted. By ensuring that pricing accurately accounts for the entire social and environmental impact of production and consumption, this all-encompassing strategy fosters more equitable and sustainable economic systems.

According to Galgani et al. (2023), a true pricing has nine steps that are implemented in four stages. A previous study specially done on broiler production (Harmens, 2023) have been used as an example. The stages and steps we followed in True Price Assessment are given in Figure 3 based on their order.

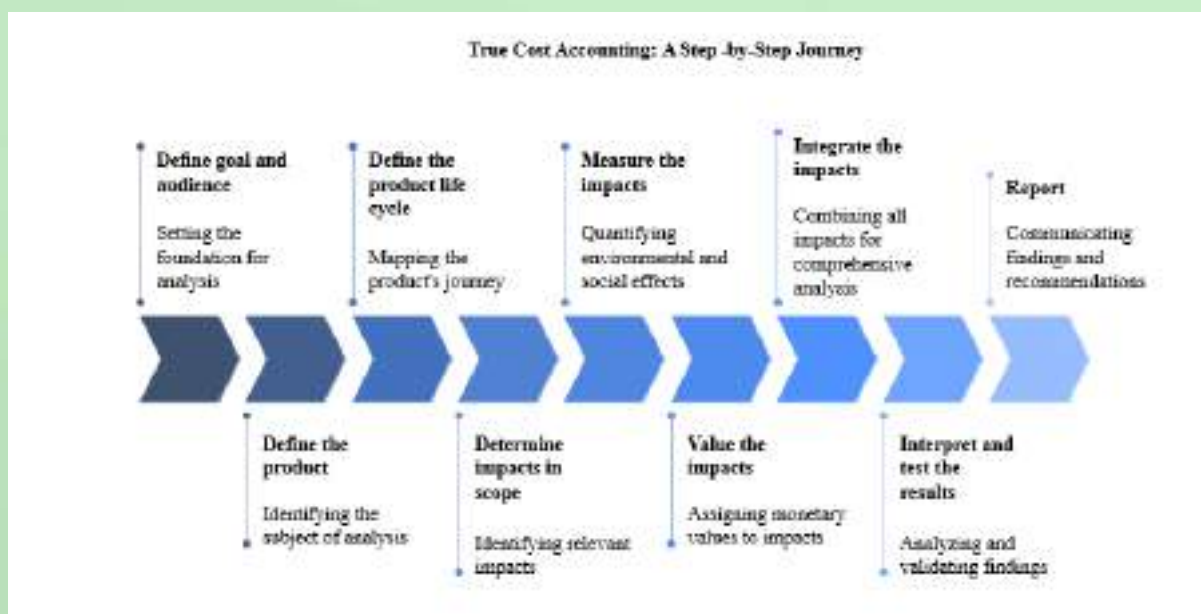


Figure 3. True Cost Accounting: A Step-by-Step Journey

The first stage has only one step at which the goal and audience of the research are defined. The second stage consists of three steps (steps 2 to 4), including defining the product, defining the product life cycle, and determining the impacts in scope. The third stage of true cost accounting is the measure and value stage. The steps 5 to 7 included under this stage are measuring the impacts, valuing the impacts, and integrating the impacts. The last stage, the reporting stage, consists of steps 8 and 9, which are the interpreting and testing the results and reporting steps. Each step of true cost accounting is discussed and explained below for this study.

Stage one

This stage has one step, which is defining the goal and audience of the study. The objective of this True Price Accounting (TPA) activity is to estimate the True Price of poultry products, specifically broiler meat and eggs, in Ethiopia. In general, the study aims to provide a comprehensive overview of the environmental and social impacts associated with poultry production, thereby informing stakeholders such as investors, policymakers, and consumers about hidden externalities and enabling more sustainable decision-making.

This study was conducted by administering a brief survey to medium and small-scale producers in Adama and Bishoftu (East Shewa Zone of the Oromia Region), and the capital city, Addis Ababa. Quantitative data were collected using a structured questionnaire from the sampled households, and the interview was conducted in person, face-to-face. The COBO TOOLBOX program, which simplified data entry, monitoring, and supervision, was used for data gathering. The accuracy and dependability of the data were guaranteed by skilled enumerators who adhered to a rigorous training regimen. An intensive desk review of published journal articles, guidelines, production manuals, and websites was conducted to collect secondary data on standardized and specific emission factors, emission monetization values, and other relevant information.





A true pricing study can be a stand-alone or comparative assessment. A stand-alone assessment focuses on a single product, while comparative assessments are designed to compare the true price of two or more products (Galgani et al., 2023). In this study, the true cost for two distinct poultry products (meat and egg) is assessed separately. Hence, this analysis follows a stand-alone analysis procedure that focuses on poultry meat and eggs.

Stage two

The second stage includes three steps: defining the product, defining its life cycle, and identifying the impacts in scope. Under the product specification step, the functional unit, reference year(s) for data, and currency of results are specified (Table 1). As discussed in the introductory section of this document, four major poultry production systems are found in Ethiopia, including backyard household systems. However, this study is restricted to intensive poultry production systems, encompassing broiler and layer enterprises at large, medium, and small scales. Hence, the products are chicken meat measured in kilograms (kg) and egg measured in number of eggs. So, the functional units used are kg for meat and the number of eggs, while the true cost assessment is calculated based on kg of meat and the unit egg. The reference year for the data employed in this assessment is 2025. The data were collected from 271 commercial poultry farms in central Ethiopia. The financial, monetized environmental and social costs were first estimated in Ethiopian Birr and then converted into USD.

Table 1. Overview of the product definition

Item	Classification
Product type	Broiler meat and egg
Functional unit	A kilogram of chicken meat and an egg
Currency	US dollar
Monetary unit	USD/kilogram
Production location	Ethiopia
Reference year data	2025

Following the product definition, the next step is to define the stages included in the product's lifecycle analysis (LCA), specifically the system boundaries. This involves two main activities: mapping the product lifecycle and selecting the relevant lifecycle stages. LCA typically follows one of two main approaches: cradle-to-grave or cradle-to-gate. In this study, a cradle-to-gate approach is adopted for the sake of simplicity. As outlined by Kang et al. (2025), the stages involved in broiler meat production include feed production, broiler production, slaughtering, meat processing, and transport for distribution. This analysis focused only on feed production, raw materials transportation, and meat/egg production processes.

The assessment stops at the point where the finished product exits the production site, before it is transported to retailers or consumers. Therefore, the retail and consumer-use phases are excluded from this analysis. This exclusion assumes that these later stages contribute minimally to the overall environmental externalities associated with broiler meat and eggs. Furthermore, broiler meat consumption in Ethiopia is more common in one's own house than in cafeterias and hotels. Hence, the cost of externalities can be assessed along the three main sectors' value chain- the input sector, production, and processing of the outputs (meat and eggs) (Figure 4).



Figure 4. System boundary for chicken meat and egg production: true cost accounting





The final step in the second stage is to determine the impacts within scope. Environmental impacts are broadly associated with resource consumption, land use, and greenhouse gas emissions. Social impacts refer to the adverse consequences of economic activities for workers and their families, for communities and entire regions, for the global community, and for consumers. This step specifies which societal effects are to be included in the TPP valuation and at which points in the value chain these effects are considered material. A standardized list of social and environmental impacts to be considered in true pricing—applicable to any product, sector, or country— is provided by Galgani et al. (2023) and summarized in Table 2.

True Price Foundation Indeed, based on the Global Reporting Initiative (GRI, 2021), material impact is a negative effect that represents a ‘violation of internationally recognized responsibilities of businesses in relation to human rights, labour rights, or environmental rights (and other stakeholder rights)’ (True Price Foundation & Impact Economy Foundation, 2020). Moreover, as the true price assessment is a ranking of impacts, we can determine that an impact is material if and only if it is likely to make a significant contribution to the true price gap. An important relevant list of impacts in poultry (meat and eggs) production is listed as follows (Table 2).

Table 2. List of impacts relevant for true pricing.

<i>Environmental impacts</i>	<i>Social impacts</i>	<i>Animal welfare</i>
Contribution to climate change	Child labour	Breach of indigenous rights
Air pollution	Gender discrimination	Breach of land rights
Water pollution	Underpayment in the value chain	Occurrence of corruption
Soil pollution	Lack of social security	Tax evasion
Land use/occupation	Excessive and underpaid overtime	Deliberate misinformation/lack of transparency
Land transformation	Living income	Negative effects of consumer health & safety
Fossil fuel depletion	Occurrence of harassment	Breaches of privacy
(Other) non-renewable material depletion	Negative effects on workers’ health and safety	
Scarce water use	Negative effects on community health and safety	

Stage three measure and value stage

Measuring the impacts comprises three steps (Steps 5–7). The first step is to measure and quantify the in-scope impacts per functional unit, i.e., per kilogram of broiler meat or eggs in this study. This step involves four sub-steps: (1) identification of footprint indicators (quantified social or environmental impacts expressed in equivalent units). In this sub-step, all footprint indicators for each impact are listed; for example, contribution to climate change is an impact, whereas greenhouse gas emissions represent its footprint indicator. (2) Collection of process data, (3) quantification of the footprint indicators, and (4) scaling of the results to the functional unit.

The following environmental and social impacts associated with true pricing are described in terms of their definitions, indicators, and monetization factors, which are primarily derived from the ReCiPe life cycle assessment methodology.

Environmental impacts of poultry production

Contribution to climate change: This impact is characterized by greenhouse gas (GHG) emissions, expressed in kilograms of CO₂ equivalents (kgCO₂e). Although per-animal GHG emissions from poultry are relatively small compared with other livestock species, the large global poultry population results in a substantial contribution to overall GHG accumulation. Studies indicate that 30–50% of the live weight of slaughtered poultry consists of by-products that are wholly or partially wasted. The poultry industry is also expanding worldwide, creating employment opportunities and contributing to poverty reduction; however, this growth is accompanied by the generation of considerable amounts of waste. Poultry waste includes significant volumes of wastewater and solid waste such as bedding, feathers, hatchery waste, blood, offal, eggshells, and manure/litter. In this study, CH₄ and N₂O emissions were converted to CO₂ equivalents (CO₂e) using their global warming potentials (GWP), namely 1 for CO₂, 25 for CH₄, and 298 for N₂O. The contribution to climate change was calculated based on the CO₂e of methane and nitrous oxide emissions from poultry manure (litter) and slaughterhouse waste management, which have considerable potential for value-added utilization similar to large-animal slaughterhouses. Poultry litter refers to the mixture of poultry manure with feed waste, feathers, and bedding materials such as wood shavings or sawdust (Gržinić et al., 2023).

Hence, in this study, the GHG emission from poultry was calculated from CO₂ emissions from land use change, fertilizer production, and machinery use, electricity and fossil fuel use for heating, lighting, and processing, processing plants and transportation of feed, birds, and products, Methane (CH₄) from anaerobic decomposition of manure, Nitrous oxide (N₂O) from nitrification and denitrification in manure storage. In calculating the feed





intake for the layers, we considered the point of lay (week 20-72), which is the egg production phase. The period from day-old chick to point of lay (week 20) is considered an investment cost. We set the assumption that layers serve only for the egg. However, feed intake for broilers is considered from the first day of the chicks' hatch. To estimate the footprint from the transportation of inputs by animal-drawn cart, a horse was considered. We assumed a horse can travel an average of 25 km/day and emit CO₂ equivalent emissions of 4233 kg per year or 0.48 kg CO₂ eq. per hours (Huisman et al., 2025). The total CO₂ emissions cost per egg or kg of broiler meat was calculated based on the distance covered or hours spent by a horse cart on the farm.

The emission factor for poultry composite feed is considered based on the findings of Kim et al. (2022) since the feed ingredients are not uniform throughout the sample farms. Accordingly, it was estimated that a layer consumes a total of 42.46 kg/year from the day it starts laying an egg, and a broiler consumes 6.52kg of composite feed through its lifetime (Capital Foods, 2023). Based on Kim et al (2022), the average CO₂eq emission per edible weight of a broiler is 5.5 kg, where the total feed consumption per 42 days is 6.52 kg, and the mean edible weight of a broiler in Ethiopia is estimated to be 2.54 kg. This implies that the CO₂eq emission per kilogram of composite poultry feed is 0.84 kgCO₂eq, while the average kgCO₂eq emissions per a broiler bird throughout its lifetime and that of a layer bird per year are 5.5 kgCO₂eq and 35.84 kgCO₂eq, respectively. The average egg production of a layer hen is also estimated to be 267 eggs per year. Hence, based on these assumptions, the respective kg CO₂eq emission per egg and per kilogram of broiler meat are 0.13 and 2.17 kg CO₂eq, respectively. The monetization factor for CO₂ emission is 0.05US\$, and hence, the cost per egg and kg of meat is 0.007US\$ and 0.108US\$, respectively.

Water footprint: This is another important source of emissions in poultry production. In poultry production, water is consumed at feed production, poultry farming, and processing (for broiler) stages, while feed production accounts for 98% of the whole water consumption (Mekonnen & Hoekstra, 2012), and the emission by this amount (the 98% of total water) is considered under the feed production. Hence, we calculated water consumption footprint emissions at the farming and processing (broiler meat) stages. Based on Mekonnen & Hoekstra (2012), the total water consumption throughout the lifetime of a broiler bird and a layer bird per year is 6m³ and 33m³, while the 2% we considered here are 120 liters and 660 liters, respectively. This implies that the water footprint per egg and per kg of broiler meat is 2.47 liters and 47.24 liters, respectively.

Hence, the restoration cost, which represents the yearly desalination charges, is referred to as scarce water consumption. Along with costs associated with covering and repaying the initial capital investment and operational expenditures for desalination, these also include expenses for electrical and thermal energy, as well as expenditures for operation and maintenance (World Bank, 2012).

Slaughterhouse waste management: It is one of the contributors to climate change. The survey results in our study show that slaughterhouse waste disposal in the study areas is mainly done by landfilling. Research by Hyvärinen (2024) shows that there is a substantial amount of methane emissions from the landfilling method of disposal. The value of methane emission ranges from 0.27 – 0.34 m³/kg of waste, which is equal to 6.75 – 8.5 kg CO₂ eq/kg of poultry by-product from the slaughterhouse. We took the average of the ranges, which is 7.63 kg CO₂ eq/kg of poultry by-product (Salminen et al., 2003).

Air Pollution: This includes human toxicity and various pollutants, measured in Disability Adjusted Life Year (DALY) and kilogram (kg) of specific pollutants. However, in this study, particulate matter (PM) formation is considered to estimate the air pollution effects of poultry farms. The unit for the impact is kg PM_{2.5} equivalent. In addition to this nitrogen deposition from Animal Husbandry (in stables) and the use of poultry litter as manure. Based on European Union central damage cost for NH₃ emissions which is 11US\$/kg NH₃, and the fact that true pricing studies usually scale Value of a Statistical Life (VSL) proportionally to GDP per capita (PPP); where EU GDP per capita (PPP) ≈ \$45,000, Ethiopia GDP per capita (PPP) ≈ \$3,300 (according to 2024 IMF estimate), then the ratio is 3,300 / 45,000 ≈ 0.073. The scaled factor will be 0.073*11US\$ = 0.8 per kg of NH₃. This can be adjusted for ecosystem exposure and become 0.78 US\$ per kg of NH₃.

Pollution of the living environment (water and soil pollution): Emissions contributing to ecotoxicity and eutrophication, measured in kg of pollutants and DALY. Poultry production (broiler or egg) can contribute to water and soil pollution through its value chain, particularly at the poultry feed production stage, by leaching of nutrients such as phosphorus and nitrogen into soil and water bodies. Similarly, direct water pollution by poultry can be assumed to be contributed to by waste disposal into water bodies. In this study, we tried to consider the pollution due to poultry waste disposal in water bodies. However, the survey result shows that there is no waste disposal directly to water bodies. In addition, since we estimated emissions of composite feed, we didn't consider water pollution due to the feed separately. Hence, there is no water and soil pollution considered in this analysis.

Land Degradation: Includes land occupation and land transformation (land use change), measured in Mean Species Abundance per hectare per year (MSA_{hayr}) and Mean Species Abundance per hectare (MSA_{ha}), respectively. Overall Impact, commercial poultry farming has negative effects on Mean Species Abundance (MSA), especially when the farming is intensive and unregulated. The commercial poultry production system lowers MSA by reducing habitat quality and availability, increasing pollutants and disease, and causing direct and indirect mortality to native species. According to the GLOBIO model, which estimates MSA under different land-





use scenarios, intensive agriculture and livestock production (including poultry) are among the top contributors to global biodiversity loss (Alkemade et al., 2013). MSA value for intensive poultry farming type is estimated from 0.1 – 0.3, where the production system is characterized by high-density production, heavy land transformation, significant pollution, and feed demands. For extensive (small-scale farming) characterized by lower density, some integration with local ecosystems, and less land clearing, the same value ranges between 0.4 and 0.6 (Alkemade et al., 2013). Hence, the highest value of degradation (0.2), where about 80% loss in species abundance or 80% of the ecosystem is lost, is considered.

Depletion of scarce abiotic resources: Fossil fuel depletion is one of the footprint indicators for the depletion of scarce abiotic resources. Fossil fuel depletion in poultry production refers to the consumption of non-renewable energy resources—such as coal, oil, and natural gas—through various stages of poultry farming and processing. These fuels are finite, and their excessive use contributes to environmental degradation and climate change.

Key areas in which fossil fuel can be used in poultry farms are: 1) feed Production stages, such as growing grains, feed milling, and transportation; 2) farm operations stages, such as heating, ventilation, and lighting in poultry houses and water pumping, waste handling, and automatic feeders; 3) Transport stage where fossil fuels are used to transport feed to farms, birds to slaughterhouses, and products to markets; 4) Processing and Packaging stages, such as slaughterhouses and meat processing facilities for refrigeration, machinery, sterilization, and packaging; and 5. Waste Management stage, such as disposal or treatment of manure and byproducts where often involves fossil fuel-driven equipment or processing systems. The depletion of fossil fuels includes the extraction of crude oil, hard coal, and natural gas which bear external costs to society (Huijbregts et al., 2017). In this study, we considered petroleum fuel depletion and charcoal use for heating broiler chicks and transportation of chicks and other inputs like feed in both broiler and layer production. The mean range of values in Bhattacharya et al. (2002), which is 2,361 g kg⁻¹ of charcoal, was taken as the charcoal combustion emission factor.

Social Impacts of Poultry Production

The following are details of social impacts identified, aligned with labor rights and corporate responsibility standards included in this study.

Child Labour: Defined by various categories of underage workers, with costs for education and reintegration expressed in US\$/child Full Time Equivalent (FTE). However, data from our survey indicates that there is insignificant child labor involvement in poultry production.

Discrimination: Focuses on gender discrimination and its impacts, with costs for denied maternity leave and wage gaps expressed in US\$.

Underpayment in Value Chain: Covers wage gaps for workers below minimum and decent living wages, expressed in US\$. The minimum decent living wage in Ethiopia is estimated to be 10,380 Birr (98.72US\$ at 105Birr/1US\$ exchange rate).

Insufficient income cost: This refers to the gap between the total income the household earned and the minimum decent income. The total income is calculated from the total income from all sources of income, like crop production, livestock production, poultry production (meat/egg), and non-farm income. It is a compensation cost that represents the restitution of the income gap, corrected for an increase in consumer prices (annual inflation) due to delayed income and valued at 1.06US\$/Int\$.

Occupational Health and Safety Risks: Includes costs associated with workplace harassment and health impacts, expressed in US\$/worker and US\$/incident.

Monetisation Factors for Environmental and Social Impacts

Each social impact has associated costs for restoration, compensation, prevention, or retribution, expressed in US\$. Hence, the monetization value for some of the environmental and social externality costs considered in this study is discussed and expressed in US dollars (US\$) (Table 3).

Climate Change: This refers to the contribution of greenhouse gas (GHG) emissions—such as carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), and nitrous oxide (N₂O)—to global warming. These emissions increase atmospheric GHG concentrations (measured in parts per billion, ppb), enhance radiative forcing, and consequently raise the global mean temperature. The associated cost is a restoration cost, which is estimated at 0.05 US\$/kg CO₂-equivalent (CO₂-eq) for GHG emissions (Tubiello et al., 2015).

Air Pollution: Refers to environmental and health impacts caused by emissions to the air, excluding climate change. These impacts include acidification, photochemical oxidant formation, particulate matter (PM) formation, nitrogen deposition, ozone layer depletion, terrestrial and aquatic ecotoxicity, and human toxicity from airborne pollutants. The cost considered here is based on a compensation rate of 125,000 USD per DALY for human toxicity specifically related to the formation of Particulate Matter with a diameter of 2.5 micrometers (PM_{2.5}). An emission of 0.003 kg/bird/flock is assumed for the PM_{2.5} of poultry emission (Wang-Li, n.d.).

Resource Depletion: This category includes the depletion of both energy and material resources. The estimated cost for fossil fuel depletion is 0.54 US\$/kg oil equivalent (oil-eq), while the cost for non-renewable material depletion is approximately 0.273US\$/kg copper equivalent (Cu-eq).





Child Labor: Like other social impact categories, the cost associated with child labour is a composite of restoration, compensation, prevention, and retribution components. The restoration cost reflects the expenses involved in providing quality education for children who are not attending school, as well as the implementation of reintegration programs for those engaged in hazardous labour (ILO, 2004). The compensation cost accounts for the loss of future earnings resulting from a child's inability to attend school during their formative years (ILO, 2004). The prevention cost covers the setup and operation of generic auditing systems designed to prevent future occurrences of child labour. The retribution cost represents a penalty for child labour violations, calculated as a weighted global average of national penalties imposed for such infractions. The estimated cost is 3470US\$ per child full-time equivalent (FTE) for non-hazardous work.

Discrimination: This includes female workers without maternity leave provision, the value of denied maternity leave, and the wage gap from gender discrimination. The respective associated costs are US\$2560, US\$1.09, and US\$1.09 per FTE.

Underpayment: We included the wage gap of workers earning below minimum wage, and the wage gap of workers earning above minimum wage but below a decent living wage. The wage gap for workers earning below the minimum wage is valued at 1.56US\$ per legal wage, indicating the ratio between actual and fair wage. Similarly, the wage gap for workers earning above the minimum wage but below a decent living wage is valued at US\$1.09 per day. The minimum wage and a decent living wage are estimated at 10,380 ETB or 98.72 USD, respectively. The exchange rate of 105 Ethiopian Birr per US dollar is considered during the period of data collection.

Health and Safety Risks: Here, we included uninsured non-fatal occupational incidents. The compensation cost represents the average cost of medical expenses for occupational injuries not covered by the employer. These costs are estimated at US\$4,550 per non-fatal occupational incident.

The sixth step is valuing the impacts, where a monetization factor is used to represent each impact as an external expense/cost. The difference between market prices and the actual cost of a good or activity is known as external costs, and it includes social and environmental effects. These expenses are determined by multiplying footprint indicators, which measure social or environmental effects, by monetization factors that give such a monetary value (1). They are essentially monetary indicators. The physical effects are translated into economic terms by monetization factors, which represent the societal cost. In certain instances, these variables may differ by nation and even by stage of a product's lifespan. Depending on where the damage occurs, different external costs may result, for instance, adjusting damage cost coefficients based on local income levels. The external costs are given in equation 1:

$$\text{External cost} = \text{footprint indicator} \times \text{monitization factor} \quad (1)$$

At step seven, integrate the impacts, implying that the different social and environmental costs are summed up, resulting in the true price gap of the product, including all parts of the life cycle that are included in the system boundaries (equation 2).

$$\text{True price} = \sum(\text{External costs}) + \text{Market price} \quad (2)$$

Stage four reporting

Steps eight and nine make up this stage. The process of making inferences from the results and assessing their quality includes step eight, which is known as the interpretation and testing of the results step. Reporting the actual price assessment is part of the last step (number nine). This should be open and comprehensive, clearly stating the findings as well as the supporting information, presumptions, procedures, steps in the calculation, and limits.

Literature review

Environmental impacts of poultry production

Greenhouse gas (GHG) emissions: According to global life cycle assessment (LCA) research, chicken meat produces around 5.4 kg of CO₂ eq per kilogram of carcass weight (CW) (eggs emit about 3.7 kg of CO₂ eq/kg) (MacLeod, 2013). Approximately 78% of poultry's GHG emissions come from the production of their feed, with on-farm energy coming in second at 8% and processing/transport at 7% in chicken meat production. On the other hand, in layer hens' egg production, feed production accounts for 69% of egg emissions, while direct on-farm energy usage accounts for 4%, and post-farm processing, transport accounts for 6%, and manure storage and processing accounts for 20% (FAO, 2013). The global feed conversion ratio of broilers is estimated to be 2.87 kg feed/kg live weight (FAO, 2013). However, emissions in Ethiopia may probably be greater than the global norm of 5.4 kg because Sub-Saharan African systems have lower feed efficiency than the global average. Given local inefficiencies, this is a lower-bound estimate, but Ethiopia's yearly poultry output (~22 kt) so "embodies" on the order of 0.1 Mt CO₂e annually (if using 5.4 kg CO₂e/kg). Feed conversion ratios (FCR) are higher (worse) in Sub-Saharan Africa than the world average, implying Ethiopian poultry likely uses >3 kg feed per kg live weight. Feed and manure emissions dominate the GHG and water footprints (Mekonnen & Hoekstra, 2012).





Table 3. Overview of monetization factors

Impact category	Impact indicator	Unit	Type of costs	Monteziation factor	Source
Contribution to climate change	Greenhouse Gas Emissions	kg CO ₂ eq	Abatement cost	0.05 US\$/kg CO ₂ eq	Tubiello et al., 2015
Air pollution	Fine particulate matter formation	kg PM _{2.5} eq	Damage cost	78.50US\$/kg PM _{2.5} eq	(Galgani, Woltjer, et al., 2023)
Nitrogen deposition NH ₃	Poultry husbandry plus manure use	Kg NH ₃ eq	Cost of the abatement measures	0.78US\$/kg NH ₃ eq.	
Water scarcity	Scarce water use	M ³	Restoration cost	1.49/m ³	(World Bank, 2012)
Land use	Land occupation	m ² a crop eq	Compensation cost	3470\$/MSA.ha. yr	de Groot et al., 2012
	Land transformation (Grassland to poultry)	Mean Species Loss	Compensation cost	313US\$/MSA*ha	
Depletion of fossil resources	Fossil resource scarcity	kg oil eq	Remediation cost	0.54US\$/kg oil-eq	(Galgani, Woltjer, De, Toorop, & De Groot Ruiz, 2021)
Child labour	Underage workers below the minimum age (12 or 13)	Full Time Equivalent (FTE)	Restoration, prevention, and retribution cost	25,300US\$/child FTE	(ILO, 2004)
Discrimination	Value of denied maternity leave	-	Cost of restoration, prevention, and retribution	2450US\$	
Discrimination	Denied payment due to gender difference	-	Restoration, prevention, and retribution cost	1.09US\$	
Underpayment in the value chain	Wage gap of workers earning below minimum	-	Restoration, prevention, and retribution cost	1.56US\$	
Insufficient income	Living income gap	-	Cost for the restitution of the income gap	1.06US\$	
Health and safety absence	Uninsured non-fatal occupational incidents	Incidence	Cost of restoration, prevention, and retribution	4470US\$/incidence	

Water use: Poultry production is water-intensive via feed. Mekonnen & Hoekstra (2012) estimated a global water footprint of around 4,325 liters of water per kg of chicken meat, while by comparison, beef has around 15,400 L/kg (Mekonnen & Hoekstra, 2012). This reflects water to grow feed crops, plus drinking water. Feed crops for Ethiopia's poultry (e.g., maize, soybean) compete with human food and may drive irrigation and land use. Globally, around 41% of agricultural water goes to livestock production only (Heinke et al., 2020).

Land and biodiversity: Rising poultry feed demand can put pressure on land. For instance, a decline in biodiversity can occur as a result of deforestation due to farm expansion to produce poultry feed like maize and soybeans. The government of Ethiopia put a strategic plan for the poultry sector development (Fekadu et al., 2022). Hence, while Ethiopia's poultry feed demand is small today, any large-scale expansion (e.g., an ambitious industry program) risks converting marginal land. Even though no Ethiopia-specific LCA for land-use has been published, global studies note that around 33% of arable land is devoted to livestock feed globally. Moreover, intensive poultry housing can also concentrate waste and ammonia (which may acidify soils and waters), though exact data for Ethiopia are lacking.





Pollution: Poultry manure and litter emit ammonia and nitrous oxide, and release nutrients into soil and water. Runoff from poultry farms (especially poorly managed small farms) can contaminate waterways and pollute the air. Unless controlled, NH₃ concentration kept below 25 ppm, the poor air quality will impair the health and welfare of animals and their caretakers (EPA, 2021; Frank et al., 2004). Moreover, veterinary drugs (antibiotics, coccidiostats) frequently appear as residues: a review found oxytetracycline detected in many Ethiopian meats and dairy samples (Tegegne et al., 2024). These residues in farm runoff pose ecological risks (antibiotic pollution and resistant bacteria in the environment).

Human health impacts

Antibiotic use and resistance: Ethiopian poultry farms heavily rely on antibiotics. Surveys (mainly backyard flocks) report 70–100% of farmers routinely use antimicrobials (tetracyclines and sulfonamides are common) for treatment and growth promotion (Sarba et al., 2019). Drug misuse leads to resistant bacteria. For instance, a study in Ambo found 78% of *E. coli* isolated from chickens were multidrug-resistant; 100% were resistant to amoxicillin/cefotaxime and ~46% to tetracycline (Sarba et al., 2019). A recent study in Addis Ababa found 34% of *Salmonella* isolates from poultry farms resistant to streptomycin and 28% to tetracycline, with 40% of isolates being multidrug-resistant (resistant to ≥ 2 antibiotics), (Akalu et al., 2024). These resistant pathogens can be transmitted to humans through the food chain or the environment. Indeed, *Salmonella* prevalence was 36.2% at the farm level, and 4.5% of farm workers' stool samples tested positive (Akalu et al., 2024). The widespread antibiotic contamination and the emergence of resistant microbes pose growing public health risks (e.g., untreatable infections).

Foodborne disease: Poultry and eggs are major sources of foodborne illness in some African countries. (Havelaar et al., 2022). In Ethiopia, *Campylobacter* and non-typhoidal *Salmonella* from chicken cause a high burden of disease. One quantitative risk study estimated ~1.8 million cases of foodborne illness per year in 2017 attributable to chicken (*Campylobacter* + *Salmonella*), causing ~850 deaths (approximately 65,000 DALYs) (Havelaar et al., 2017). *Campylobacter* infections were almost four times more common than *Salmonella*, though *Salmonella* caused four times more deaths (Havelaar et al., 2017). In practical terms, that means roughly 1 in 50 Ethiopians fell ill from contaminated poultry that year (Havelaar et al., 2017). These illnesses include diarrhea, sepsis, and long-term sequelae. (For comparison, beef and dairy in Ethiopia cause comparable burdens, while the burden from chicken was higher than vegetables (Havelaar et al., 2017). Poor on-farm hygiene, lack of cold chain, and informal slaughter practices exacerbate these risks.

Nutrition: Poultry products are nutritionally valuable sources of protein, vitamins, and minerals. Interventions increasing egg consumption in Ethiopia have shown clear benefits: in a rural trial, children given at least one egg/day had 42–54% lower odds of being underweight or stunted after 6 months (Omer et al., 2022). Thus, improved access to poultry/eggs can reduce childhood malnutrition. On the other hand, poultry meat is relatively low in saturated fat compared to beef (a modest health “plus”) and can help meet protein and micronutrient needs in a country with high rates of stunting. The balance of health impacts is complex, but the nutritional benefits of poultry (especially eggs) for a protein-deficient population are significant (Omer et al., 2022).

Labor and Working Conditions

Employment and wages: Agriculture (including poultry) is Ethiopia's largest employment sector (~80% of the workforce). Poultry farming is labor-intensive (feeding, cleaning, slaughtering). However, wages on farms are extremely low and unregulated: Ethiopia has no national minimum wage, leaving farm workers vulnerable. Salary surveys show 80% of agricultural workers earn between ~3,696 and 9,320 ETB per month (gross). (As of 2024, 3,700 ETB $\approx$ \$60 USD; 9,300 ETB $\approx$ \$150 USD) (Salaries in Ethiopia - Paylab.com, n.d.). These figures include all agri workers, so poultry workers are likely in the lower part of this range, often earning well below a living wage. Many work informally (no contracts or benefits). ILO analysts stress that without wage protections, farm labor in Ethiopia is poverty-level.

Occupational safety: Farming in Ethiopia is hazardous. One study of a large state farm found 783 injuries per 1,000 workers per year (i.e., ~78% of workers injured annually) (Kumie et al., 2016), with each injury causing 11 lost workdays. Common hazards include handling heavy poultry feed bags, using sharp implements for slaughter, exposure to animal waste, and heat stress. Poultry houses may be poorly ventilated, risking respiratory problems. Formal safety training is rare. Thus, poultry farm workers face high rates of cuts, musculoskeletal injuries, and potentially zoonotic infections (like avian influenza, salmonellosis).

Gender and labor: Women play a major role in Ethiopia's poultry sector, especially in smallholder flocks. ILO-supported programs emphasize that poultry can empower female farmers. Nevertheless, gender pay gaps and limited access to credit or markets mean female poultry workers often earn less and have poorer conditions than men. Data on this are sparse, but general rural patterns suggest women bear a large share of the unpaid or low-paid labor in poultry farming.





Animal welfare

Living conditions: Health and safety metrics in Ethiopia's poultry sector is given in Table 4. The vast majority (~95%) of Ethiopia's chickens are indigenous village stock, kept extensively under free-range or simple coop conditions. Chickens usually scavenge the household vicinity with minimal housing or veterinary care. In the small commercial sector, birds may be kept indoors on litter floors or in cages, but welfare standards are low: there is no animal-welfare legislation specific to poultry in Ethiopia (Animal Protection, 2020). Basic "five freedoms" (adequate space, rest, enrichment) are not enforced. Overcrowding, poor ventilation, and temperature extremes are common (Jerlström, 2013). Culling is often by rough methods (neck-breaking or drowning) with little anesthesia.

Health and mortality: Disease is rampant. Recent surveys report annual flock mortality rates of **20–50%** in Ethiopia (Asfaw et al., 2021). Some outbreaks in northern Ethiopia have killed up to **68%** of birds (Asfaw et al., 2021). Young chicks are especially vulnerable (Mazengia et al., 2012) found ~45% died within the first weeks) (Asfaw et al., 2021). By contrast, well-managed research flocks had only ~7% mortality. In practice, most farmers lose 10–30% of flocks yearly to Newcastle disease, infectious bursal disease, parasites and predators. High mortality reflects poor nutrition, lack of vaccines, and inadequate biosecurity (Asfaw et al., 2021). Ethically, such losses indicate severe neglect of the "livelihoods" of animals.

Welfare compliance: Officially, only general anti-cruelty laws apply. The criminal code bans willful animal cruelty or deliberate disease spread, but there are *no* binding regulations on housing, transport, or slaughter of poultry (Animal Protection, 2020). In effect, poultry are outside any welfare oversight. NGOs note this regulatory vacuum: farmers are not required to provide even basic shelter or veterinary care beyond disease control requirements (Animal Protection, 2020). Industry associations have minimal welfare codes. Result: routine mistreatment (e.g., inhumane culling, denial of veterinary treatment) likely occurs unchecked.

Table 4. Health and safety metrics in Ethiopia's poultry sector

Metric	Value / Impact	Source
Farm-level <i>Salmonella</i> prevalence	36.2% of poultry farms tested positive	[<i>Salmonella</i> study, Addis Ababa] (Akalu et al., 2024).
<i>Salmonella</i> multi-drug resistance	40.6% of isolates resistant to ≥ 2 drugs	(Akalu et al., 2024)
<i>E. coli</i> multi-drug resistance (backyard)	78.1% of isolates are MDR, 100% resistant to amoxicillin, 46% to tetracycline	bmcvetres.biomedcentral.com (Sarba et al., 2019)
Foodborne illness (poultry origin)	Up to 1.8 million cases/year; ~850 deaths**	(Leslie et al., n.d.) (2017 data)
Child stunting (decreases with eggs)	42% lower odds (<i>Agriculture, Food Industry, Ethiopia Salaries - Paylab.com, n.d.</i>) <i>pia Salaries - Paylab.Com, n.d.</i>)	
Agricultural worker's monthly wage	3,696–9,320 ETB (~\$60–150) (gross)	(Agriculture, Food Industry, Ethiopia Salaries - Paylab.Com, n.d.).Accessed on 07 July 2025.
Farm injury rate (state farm example)	783 injuries per 1000 workers/year	(Kumie et al., 2016)

Notes: "MDR" = multi-drug resistant. **The foodborne figures are estimated total illnesses/deaths attributable to chicken-borne bacteria in 2017 (*Campylobacter* + *Salmonella*) frontiersin.org. The child nutrition metric comes from a controlled trial where rural Ethiopian children fed 1 egg/day (via a poultry-ownership program) had significantly reduced undernutrition pmc.ncbi.nlm.nih.gov.

Result and discussion

Characterization of poultry producers and sample distribution

The investigation is carried out using samples from four cities in and around the Addis Ababa area, including Adama, which is located no more than 100 kilometers east of Addis Ababa, as detailed in the methods section of this article. Addis Ababa accounts for the majority (about 50%) of the sample farms, with Bishoftu and Adama accounting for 27% and 18% of the sample, respectively (Table 4; Figure 5).

Table 5. Study area poultry farm sample distribution

City (sample study area)	Number of sample poultry farms	Percentage	Cumulative percentage
Adama	48	17.71	17.71
Addis Ababa	134	49.45	67.16
Bishoftu	72	26.57	93.73
Dukem	17	6.27	100.00
Total samples	271	100	



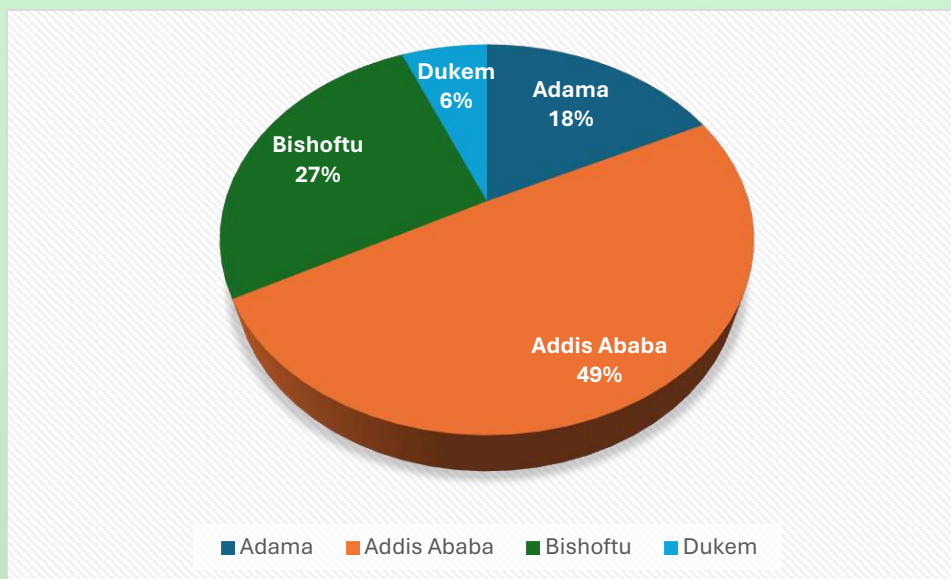


Figure 5. Number of sample poultry farms

Broiler production system

Figure 6 presents the distribution of broiler flock sizes across the surveyed farms and shows that most farms keep relatively small numbers of birds. Of the 78 broiler farms, only about 9% (7 farms) are classified as large-scale operations, each rearing more than 10,000 broilers. The majority are medium-scale producers, keeping 1,000–10,000 broilers, followed by small-scale farms with fewer than 1,000 broilers, which account for 33% (26 farms) (Table 3). Most producers (75 out of 78; 96%) use a half-slatted, half-floor (deep-litter) housing system, whereas only 4% of farms employ a battery-cage housing system.

Table 3. Broiler production system in Ethiopia

Variable description	Number of farms	Mean number of broilers
Small-scale production (<1000 broilers)	26 (33%)	569 (67)
Medium-scale production (>1000 and <=10,000 broilers)	45 (58%)	4392 (401)
Large-scale production (>10,000 broilers)	7 (9%)	15536 (2511)
Battery-cage system house type users	3 (3.85)	-
Floor system/Deep litter system house type users	75 (96.15%)	-

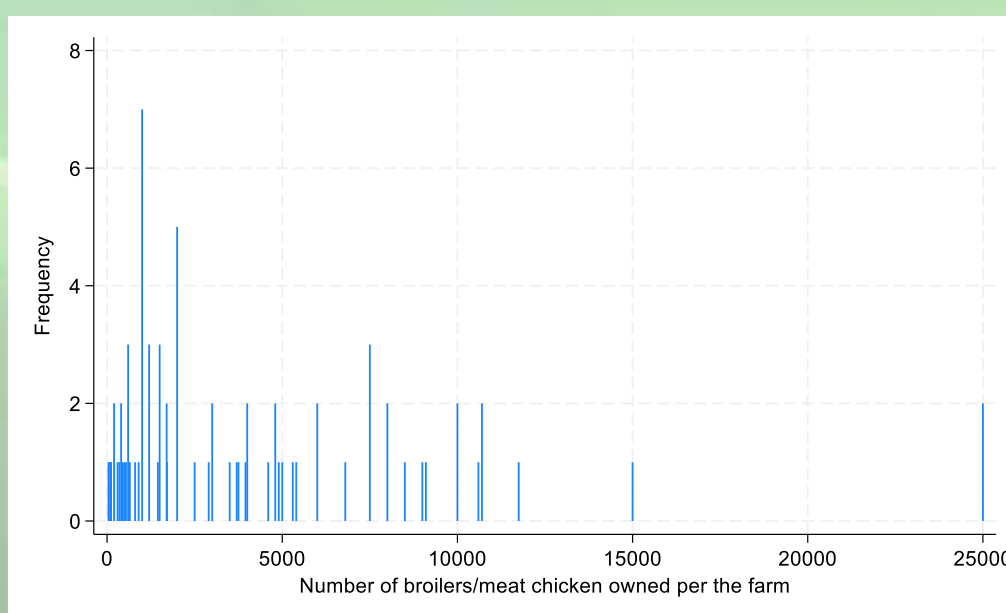


Figure 6. Number of broilers/meat chickens owned by each farm





Layer chicken production system in Ethiopia

The majority of layer producer farms are categorized as small-scale farms. Around 67% (135 farms out of 201 egg-producing farms) of the farms are operating with 1000 or fewer layer chickens, while the rest 32% (65 farms) are operating with a bird size of between 1001 and 10,000 chickens, while there is only one farm under a large-scale production system. With a total share of 95%, the housing system used in egg-layers production system is mainly a floor system or deep litter system, while only 4.5% of the farms are using the cage and battery system. Even though the battery cage system is widely used throughout the globe, it is being abandoned by the European Union, promoting non-cage eggs mainly due to animal welfare issues (Appleby, 2003). Hence, the intensive layers (eggs) production system in Ethiopia is a more animal welfare-friendly system, at least in terms of the housing system. The mean number of poultry birds (layers) for small-scale and medium-scale farms was 524 and 2421 birds, respectively.

Table 6. Layers chicken production system in Ethiopia

Variable description	Number of farms	Mean number of layers	Std. Deviations
Small-scale production (<1000 layers)	135 (67%)	524	27
Medium-scale production (>1000 and <=10,000 layers)	65 (32%)	2421	196
Large-scale production (>10,000 layers)	1 (0.50%)	11000	.
Battery-cage system	9 (4.50%)		
Floor system/Deep litter system	192 (95.50%)		

*Numbers in parentheses are standard deviations

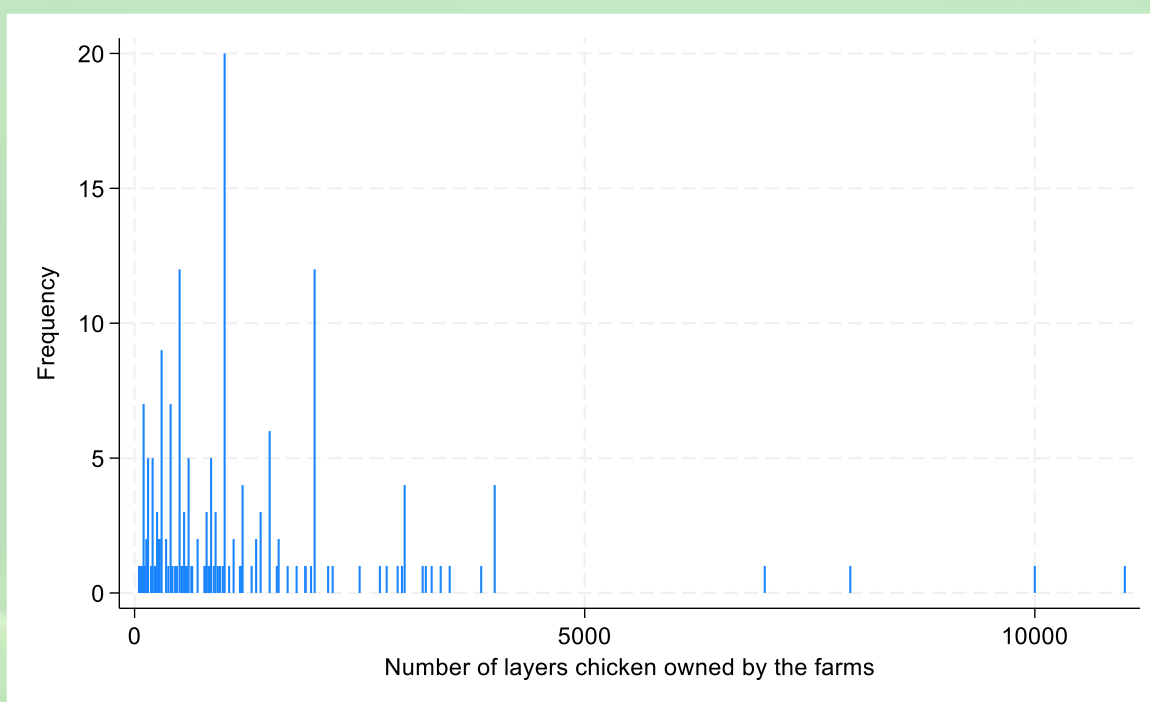


Figure 7. Number of layers of chickens per farm

Economic performance of layers and broiler farms in Ethiopia

The economic performance of broiler farms in Ethiopia indicates that the farms are operating profitably, as presented in Table 7. The results reveal that the average net farm profit amounts to USD 440. As expected, feed and water expenses constitute the largest share of operational (variable) costs, accounting for approximately 78%, while fixed costs remain minimal in broiler production. The cost of day-old chicks represents the second-largest component of variable costs, contributing about 17%. The relatively low level of fixed costs may be attributed to the small scale of operation and the continued use of traditional production methods.

Table 8 presents the economic performance of table-egg production in Ethiopia. On average, layer farms earn an annual profit of USD 12,500, which is substantially higher than that of broiler farms. As expected, feed and water expenses constitute the largest share of production costs, accounting for approximately 74% of the total cost and 95% of the variable cost. Fixed costs represent only about 22% of the total. Overall, the findings suggest that layer farms are financially sustainable and possess substantial potential for future growth and expansion.





Table 7. Economic analysis of broilers (chicken meat) in Ethiopia

Description	Value (USD)	Values (ETB)
Total Revenue from Broilers	39,307	4,127,222
Feed and water cost	27,249	2,861,101
Day-old chicken costs	6,074	637,816
Health costs	619	65,047
Transport costs	200	21,034
Marketing costs	33	3,414
Total labor cost	876	91,938
Total variable cost	35,051	3,680,350
Fixed cost	66	6,958
Total production cost for broiler	35,117	3,687,308
Net profit of the Broiler farm	4,190	439,914

Table 8. Economic analysis of layer-hens (table egg) in Ethiopia

Description	Value (ETB)	USD
Total Layers Revenue	3,387,217	32,259
Feed and water cost	1,549,212	14,754
Labor cost	19,746	188
Energy cost	6,827	65
Health cost	34,964	333
Marketing cost	1,080	10
Transport cost	20,279	193
Total variable cost	1,632,108	15,544
Fixed cost	447,416	4,261
Total cost	2,079,524	19,805
Profit before tax	1,307,693	12,454
Income tax	2,993	29
Net profit after income tax	1,304,700	12,426

The environmental footprint and true costs of poultry production in Ethiopia

The environmental footprints considered in this study are greenhouse gas (GHG) emissions, air pollution, land transformation, land occupation, and scarce water use. In egg production, environmental footprint cost accounts for a total of about 0.075 US\$/egg. The GHG emissions considered are comprised of Carbon dioxide (CO₂), Methane (CH₄), and Ammonia (NH₃). The result of the analysis shows that GHG emissions contribute to a major share of externality costs in egg production by exerting 0.05US\$/egg, which accounts for about 71% of the total environmental footprint costs, followed by air pollution that contributes 0.02 US\$/egg, which is approximately 26% of the total environmental footprint costs. The scarce water use, land occupation, and land transformation each contribute very small amounts of environmental costs with values of 0.001 US\$, 0.001 US\$, and 0.0001US\$ respectively.

Similarly, the environmental cost per kg of chicken meat is around 0.80US\$, out of which around 0.55US\$ (70%) is contributed by GHG emission, followed by air pollution, which accounts for 0.18US\$ (22%) of the total environmental costs. The rest of the environmental costs in chicken meat production are contributed by land occupation, scarce water use, and land transformation, each contributing 0.05US\$, 0.014US\$, and 0.005US\$ or 6%, 1.74% and 0.62% of the total environmental costs, respectively (Table 6).

Table 9. Summary of Environmental footprint costs (GHG emission costs)

Environmental cost categories	Cost per egg (US\$)	Percentage of total cost	Cost per kg of chicken meat (US\$)	Percentage of total cost
Land transformation	0.0001	0.13	0.0049	0.62
Land occupation	0.0008	1.07	0.047	5.92
Scarce water use	0.0008	1.07	0.0138	1.74
Air pollution	0.0198	26.44	0.1753	22.06
Greenhouse Emissions	0.0535	71.43	0.5535	69.67
Total	0.0749	100.00	0.7945	100.00





Sources of greenhouse gas emissions in broilers and egg poultry production

Greenhouse gas (GHG) emissions in poultry production come from several sources throughout the production cycle. The largest contributor to GHG emissions in poultry production is feed production. Fertilizer (especially nitrogen-based) that releases nitrous oxide (N₂O), land use change related to deforestation, and transportation and processing of feed ingredients are the main sources of GHG emissions. Feed production and related activities, such as feed transportation by producers, contributed a cost of 0.04US\$ while pullet transportation, which is mainly done by vehicles, contributes 0.01US\$. The direct GHG emission from layers is only from manure management, which contributes around 0.01US\$, while the enteric emission in poultry production, whether it is in broiler or layer, is neglected and equivalent to zero (Dunkley & Dunkley, 2013). Results in Table 7 show that the majority of GHG emissions are from feed production and related activities like transportation using animal-drawn carts, the two cost components accounting for around 69% of the total GHG emissions in egg production (Dunkley & Dunkley, 2013; Leinonen & Kyriazakis, 2016; Mottet & Tempio, 2017; Sousa et al., 2017). Emissions from fuel that is mainly used for transportation of pullets are the most important source of GHG, followed by manure management in egg production, each contributing 17 and 14% of total GHG emissions in egg production. This result is consistent with other previous authors' findings. The higher transportation cost in egg production can also be attributed to the frequent transportation of eggs to the market centers.

As shown in Table 7, greenhouse gas (GHG) emissions from broiler meat production contribute approximately \$0.55 in externality costs per kg of chicken meat produced. Among the main sources, manure management, on-farm energy use, poultry feed production, and slaughterhouse operations are the most significant contributors, accounting for roughly \$0.33, \$0.11, and \$0.11, respectively. These correspond to approximately 59%, 20%, and 19% of the total GHG emission costs in broiler production. As explained earlier, broilers—and poultry in general—do not produce enteric methane emissions like cattle. Being monogastric rather than ruminant animals, their digestive systems involve minimal fermentation. They consume low-fiber, easily digestible diets and lack the microbial environment found in ruminants that facilitates methane production. The finding of this case study, that manure management is the largest contributor to GHG emission costs, is consistent with previous research conducted in Malaysia (Suffian et al., 2018).

As indicated in Table 8, the social cost of egg production, comprising factors such as employee health and safety, underpayment, gender discrimination, child labor, and under-earning by both employees and poultry-farming households, amounts to approximately 0.014 USD per egg. Among these, health and safety risks and underpayment contribute the largest shares, accounting for about 0.007 USD (48%) and 0.006 USD (44%) per egg, respectively. The contribution of child labor is minimal, suggesting that poultry farms in this study primarily rely on hired labor, with limited involvement of family labor. Social costs related to gender discrimination and under-earning are also relatively minor. The substantial share of health and safety issues and underpayment in the total social cost highlights the need for government intervention, such as setting a minimum wage and implementing effective insurance policies within private enterprises.

The social externality costs per kilogram of chicken meat are presented in Table 8. The total social cost is substantial, amounting to approximately 0.19 USD per kilogram. The largest contributors to this cost are underemployment and health and safety concerns, which account for about 0.12 USD (64%) and 0.034 USD (18%), respectively. Gender discrimination and under-earning also make notable contributions, each adding approximately 0.014 USD (8%) and 0.011 USD (6%) to the total social cost.

Equation 2 is employed to calculate True Price of the two products (broiler meat per kg and egg). According to the result from Table 8, the True Price of egg is the sum of market price and external cost which is equals to 0.1991US\$ per egg. On the other hand, the per kg True Price of chicken meat is 4.9926US\$.

The result (Figure 7) also depicts that environmental cost is contributing more to external cost than social cost in both egg and broiler meat production. In both egg and chicken meat products of True Price, the market price has the largest share, with a larger share in meat production. In egg production, the market price only covers more than 52% of the True Price per egg, while in broiler meat production, it contributes more than 80% of the True Price per kg of chicken meat.

Table 10. Greenhouse gas emission costs from different sources in broiler and egg production

<i>GHG emission sources</i>	<i>Cost per egg (US\$)</i>	<i>Cost per kg of meat (US\$)</i>
Slaughterhouse	-	0.1068 (19.28%)
Transportation by animal-drawn cart	0.0187 (34.96%)	0.0028 (0.51%)
Manure management, emission, and energy use, such as heating	0.0076 (14.22%)	0.3275 (59.16%)
Feed production and processing	0.0180 (33.67%)	0.1080 (19.51%)
Fuel for transportation of chicks and/or inputs	0.0092 (34.96%)	0.0085 (1.53%)
Total	0.0535 (100%)	0.5535 (100%)





Table 11. Social externality costs of broiler and egg production in Ethiopia

Social cost categories	Cost per egg (US\$)	Percentage of total social cost	Cost per kg of chicken meat (US\$)	Percentage of total social cost
Underearning	2.21E-05	0.16	0.0114	6.15
Child labor	0.0004	2.43	0.0070	3.78
Discrimination (gender)	0.0007	4.62	0.0142	7.68
Underpayment	0.0063	44.07	0.1187	64.13
Health & Safety	0.0069	48.74	0.0338	18.27
Total (social) cost	0.0142	100%	0.1851	100%
Mean financial cost	0.10	-	2.73	-
Market price	0.11	-	4.013	-
Total externality costs (environmental plus social costs)	0.0891	-	0.9796	-
True Price (externality cost plus market price)	0.1991	-	4.9926	-

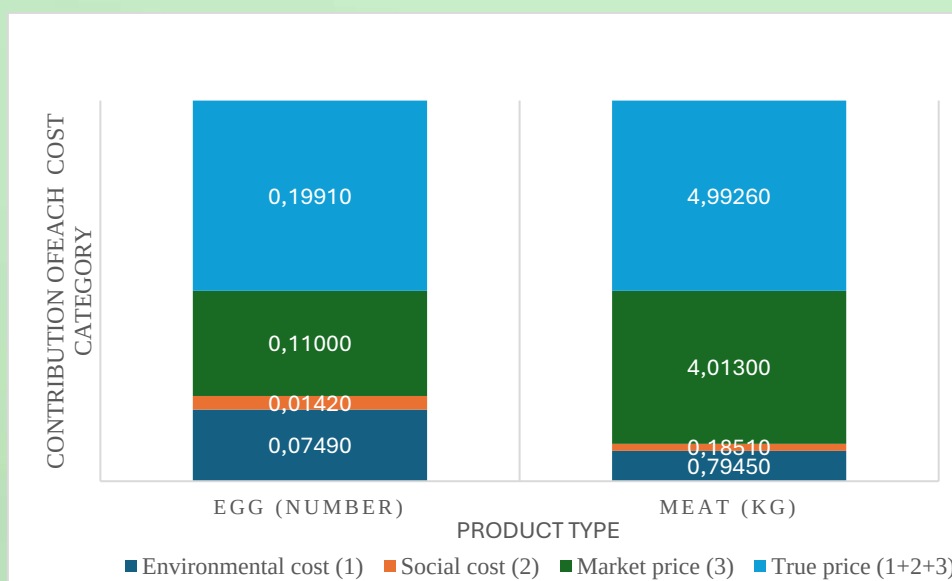


Figure 8. Comparison of sources of the True Price of poultry products in Ethiopia

Conclusion and recommendation

Conclusion

This study highlights the structure, production systems, and external costs of poultry farming in Ethiopia, focusing on broiler and layer production in four urban and peri-urban centers around Addis Ababa. The sample distribution shows that poultry production is concentrated in Addis Ababa, Bishoftu, and Adama, with Addis Ababa alone accounting for nearly half of the farms.

Broiler production is dominated by medium-scale farms (58%), followed by small-scale farms (33%), with only a small proportion operating on a large scale. The deep litter system is almost universally adopted (96%), with battery-cage housing being rare. Layer production, on the other hand, is largely small-scale (67%), with most farms keeping fewer than 1,000 birds and similarly favoring the deep litter system over cages. The preference for non-cage systems makes Ethiopian egg production relatively more animal welfare-friendly compared to intensive caging systems common in other countries.

From an environmental perspective, greenhouse gas (GHG) emissions are the largest contributor to the externality cost in both egg and chicken meat production, mainly arising from feed production and manure management. For eggs, GHG emissions represent 71% of environmental costs, while in broiler production, manure management alone accounts for 59% of these costs. Air pollution is the second largest environmental cost factor. Water use, land occupation, and land transformation contribute minimally. Social externality costs, though smaller than environmental ones, are still significant. In both systems, underpayment and health and safety risks make up the bulk of social costs, reflecting labor market challenges in the sector. Child labor and gender discrimination have relatively low contributions.





When incorporating both market and external costs into the True Price, it is evident that current market prices substantially understate the real societal cost of poultry products. For eggs, the True Price is \$0.199 per unit, with environmental costs being more than six times higher than social costs. For chicken meat, the True Price is \$4.99 per kg, with market price making up over 80% of that value, but still excluding considerable environmental and social externalities.

Overall, the findings suggest that while poultry production in Ethiopia is dominated by small- and medium-scale farms using welfare-friendly housing, it carries substantial hidden environmental costs, primarily from feed production and manure management, and social costs from labor-related issues. Addressing these through improved feed efficiency, manure management practices, and labor protections could reduce the true societal cost of poultry production and improve its sustainability.

Recommendations

True Cost assessment is essentially an exercise aimed at accounting for externalities and incorporating them into the current market price, which ultimately increases the burden on consumers. The goal is to understand the environmental and social costs, prioritizing the upstream activities of the value chain that contribute to these externalities. By doing so, actions can be taken to reduce the negative externality costs through the effective dissemination of information. To enhance the sustainability, efficiency, and social responsibility of poultry production in Ethiopia, the following recommendations are proposed:

1. *Enhance feed production and efficiency:* This can be accomplished by promoting the use of locally sourced feed ingredients to minimize transport-related GHG emissions. Additionally, research on feed formulation can facilitate the development of well-balanced diets and feed additives that enhance feed conversion rates, decrease nitrogen excretion, and minimize emissions from manure. Furthermore, offering incentives for the establishment of modern, energy-efficient feed mills in close proximity to poultry production sites can help reduce transportation emissions and expenses.

2. *Improve manure management practices:* To drastically reduce methane and ammonia emissions, poultry producers should be urged to implement manure treatment methods such as composting, biogas production, or other low-emission manure management systems. This can be achieved by offering extension and training services, as well as by creating regulatory incentives like tax exemptions or subsidies for commercial farmers who use low-emission manure technology.

3. *Encourage energy efficiency in poultry production:* Because Ethiopia does not experience severe weather, on-farm energy consumption in poultry production is negligible. Fossil fuel use can be reduced in poultry houses by implementing renewable energy sources, including solar-powered heating, ventilation, and lighting systems. In order to encourage better practices, energy auditing and the voluntary energy efficiency certification for chicken farms can help advance this.

4. *Establishment of labor standards and social protections:* Another step that needs to be performed is the implementation of social protections and labour regulations. The problem can be resolved by establishing and enforcing minimum wage regulations tailored to the poultry sector to combat underpayment. It is essential to enforce health and safety regulations by mandating safety training, the supply of protective equipment, and recurring physical examinations for poultry workers. Additionally, the hidden social cost of chicken production can be reduced by promoting gender equality initiatives, including offering gender-sensitive training and guaranteeing equal compensation for equal labour in order to lessen discrimination.

5. *Market transparency and true cost awareness:* By stating the True Price on chicken products, consumers can become more conscious of the social and environmental costs associated with production. Pilot projects that label poultry meat and eggs with the corresponding environmental and social cost components can help reach this goal by educating customers about these hidden effects. Furthermore, producers can be encouraged to actively cut social and environmental costs by providing incentives for low-impact production, such as preferential procurement or market rewards to farms with smaller environmental footprints than average.

6. *Assistance for producers on a small and medium scale:* Access to financing is necessary to allow Ethiopia's young, modern chicken farms to implement improved housing systems, renewable energy sources, and manure management equipment. Promoting producer cooperatives might help in combining resources for product marketing, bulk feed procurement, and transportation in order to cut expenses and emissions.

7. *Encourage animal welfare-friendly systems:* To benefit from the system, the advantages of the current deep litter system must be well-maintained. Research on methods to enhance deep litter productivity and hygiene is beneficial, given its advantages for animal welfare and a supplement to other enterprises like crop production. Furthermore, Ethiopian eggs can be marketed as welfare-friendly in both local and foreign markets by obtaining national certification of cage-free production. This would help Ethiopia break into markets like the EU, where battery cage systems are being phased out to safeguard animal welfare.





References

- Agriculture, Food Industry, Ethiopia salaries - Paylab.com. (n.d.). Retrieved July 4, 2025, from <https://www.paylab.com/et/salaryinfo/agriculture-food-industry>
- Akalu, A., Tadesse, T., Alemayehu, H., Medhin, G., Woldeyohannes, D., & Eguale, T. (2024). Prevalence and Antimicrobial Susceptibility Profile of Salmonella from Poultry Farms and In-Contact Humans and Associated Risk Factors in Addis Ababa, Ethiopia. *Wiley Online Library* Akalu, T Tadesse, H Alemayehu, G Medhin, D Woldeyohannes, T Eguale *International Journal of Microbiology*, 2024•Wiley Online Library, 2024. <https://doi.org/10.1155/2024/4227460>
- Alemayehu, T., Bruno, J. E., Getachew, F., & Dessie, T. (2018). *Socio-economic, marketing and gender aspects of village chicken production in the tropics: A review of literature*. International Livestock Research Institute. <https://hdl.handle.net/10568/96188>
- Alkemade, R., Reid, R. S., Van Den Berg, M., De Leeuw, J., & Jeuken, M. (2013). Assessing the impacts of livestock production on biodiversity in rangeland ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(52), 20900–20905. <https://doi.org/10.1073/PNAS.1011013108/-/DCSUPPLEMENTAL/ST04.DOC>
- Animal Protection, W. (2020). *Animal Protection Index (API) 2020 Federal Democratic Republic of Ethiopia: ranking F Executive summary*. <https://www.wipo.int/edocs/lexdocs/laws/en/et/et011en.pdf>
- Appleby, M. C. (2003). The European Union Ban on Conventional Cages for Laying Hens: History and Prospects. *Journal of Applied Animal Welfare Science*, 6(2), 103–121. https://doi.org/10.1207/S15327604JAWS0602_03
- Arendt, R., Bachmann, T. M., Motoshita, M., Bach, V., & Finkbeiner, M. (2020). Comparison of Different Monetization Methods in LCA: A Review. *Sustainability* 2020, Vol. 12, Page 10493, 12(24), 10493. <https://doi.org/10.3390/SU122410493>
- Asfaw, Y. T., Ameni, G., Medhin, G., Gumi, B., Hagos, Y., & Wieland, B. (2021a). Poultry disease occurrences and their impacts in Ethiopia. *Tropical Animal Health and Production*, 53(1), 54. <https://doi.org/10.1007/S11250-020-02465-6>
- Asfaw, Y. T., Ameni, G., Medhin, G., Gumi, B., Hagos, Y., & Wieland, B. (2021b). Poultry disease occurrences and their impacts in Ethiopia. *Tropical Animal Health and Production*, 53(1), 54. <https://doi.org/10.1007/S11250-020-02465-6>
- Asfaw, Y. T., Ameni, G., Medhin, G., Gumi, B., Hagos, Y., & Wieland, B. (2021c). Poultry disease occurrences and their impacts in Ethiopia. *Tropical Animal Health and Production*, 53(1). <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02465-6>
- Baker, B. P., Green, T. A., & Loker, A. J. (2020). Biological control and integrated pest management in organic and conventional systems. *Biological Control*, 140, 104095. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCONTROL.2019.104095>
- Bhattacharya, S. C., Albina, D. O., & Abdul Salam, P. (2002). Emission factors of wood and charcoal-fired cookstoves. *Biomass and Bioenergy*, 23(6), 453–469. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(02\)00072-7](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(02)00072-7)
- Bist, R. B., Bist, K., Poudel, S., Subedi, D., Yang, X., Paneru, B., Mani, S., Wang, D., & Chai, L. (2024). Sustainable poultry farming practices: a critical review of current strategies and future prospects. *Poultry Science*, 103(12), 104295. <https://doi.org/10.1016/J.PSJ.2024.104295>
- Bourn, D., Maitima, J., Motsamai, B., Blake, R., Nicholson, C., & Sundstol, F. (2005). *Livestock and the environment*. <https://scholar.google.com/scholar?q=FAO.%202023b.%20Livestock%20and%20the%20environment.%20LivestockEnv.%20Accessed%20Sept.%202023.%20http%3A%2F%2Fwww.fao.org%2Flivestock-environment%2Fen>
- Brundtland, G., & Khalid, M. (1987). *Our common future*. https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/handle/10625/18365/WCED_116934_manuscript.pdf?sequence=1
- Capital Foods. (2023). *Broiler Feed & Management Guide*. <https://t792ae.c2.acecdn.net/wp-content/uploads/2023/02/Broiler-Management-Guide-Capital-Foods.pdf>
- Castanon, J. I. R. (2007). History of the use of antibiotic as growth promoters in European poultry feeds. *Poultry Science*, 86(11), 2466–2471. <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00249>
- Castro, F. L. S., Chai, L., Arango, J., Owens, C. M., Smith, P. A., Reichelt, S., DuBois, C., & Menconi, A. (2023). Poultry industry paradigms: connecting the dots. *Journal of Applied Poultry Research*, 32(1). <https://doi.org/10.1016/j.japr.2022.100310>
- Countries That Consume the Most Eggs - WorldAtlas. (n.d.). Retrieved May 30, 2025, from <https://www.worldatlas.com/articles/countries-that-consume-the-most-eggs.html>
- Davidson, N., Lauvås, A. J., Myhre, O., Ropstad, E., Carpi, D., Gyves, E. M. de, Berntsen, H. F., Dirven, H., Paulsen, R. E., Bal-Price, A., & Pistollato, F. (2021). Exposure to human relevant mixtures of halogenated persistent organic pollutants (POPs) alters neurodevelopmental processes in human neural stem cells undergoing differentiation. *Reproductive Toxicology*, 100, 17–34. <https://doi.org/10.1016/J.REPROTOX.2020.12.013>
- Dessie, T., Tadesse, M., Yami, A., & Peters, K. J. (2003). *Village chicken production systems in Ethiopia: 1. Flock characteristics and performance*. <https://hdl.handle.net/10568/4066>
- Dunkley, C. S., & Dunkley, K. D. (2013). Greenhouse gas emissions from livestock and poultry. *Agriculture, Food and Analytical Bacteriology*, 3(1), 17–29. <https://poultry.caes.uga.edu/content/dam/caes-subsite/poultry/documents/greenhouse-gas-emissions-from-livestock-poultry.pdf>
- EPA (United State Environmental Protection Agency). (2021). *Failure to stay within ammonia limits predominantly driven by agriculture - Green News Ireland*. <https://greennews.ie/epa-ammonia-emissions-agriculture-2021/>
- Ethiopia: Ethiopia's Demand for Chicken Meat is Expected to Grow | USDA Foreign Agricultural Service. (n.d.). Retrieved May 29, 2025, from <https://www.fas.usda.gov/data/ethiopia-ethiopias-demand-chicken-meat-expected-grow>
- Fao. (n.d.). *POULTRY SECTOR*. Retrieved May 31, 2025, from <http://www.wipo.int/amc/en/mediation/rules>





- FAO Council. 1989. *Sustainability pathways: sustainability...* - Google Scholar. (n.d.). Retrieved June 1, 2025, from [https://scholar.google.com/scholar?q=FAO%20Council.%201989.%20Sustainability%20pathways%3A%20sustainability%20assessments%20\(SAFA\).%20Accessed%20Sept.%202023.%20https%3A%2F%2Fwww.fao.org%2Fnr%2F%2Fsustainability%2F%2Fsustains-safa%2F%2Fen%2F](https://scholar.google.com/scholar?q=FAO%20Council.%201989.%20Sustainability%20pathways%3A%20sustainability%20assessments%20(SAFA).%20Accessed%20Sept.%202023.%20https%3A%2F%2Fwww.fao.org%2Fnr%2F%2Fsustainability%2F%2Fsustains-safa%2F%2Fen%2F)
- FAO (Food, & A. O. of the U. (2013). *Greenhouse gas emissions from pig and chicken supply chains : a global life cycle assessment*. 171. <https://doi.org/https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/5916>
- FAOSTAT. (2025, June). *Crops and livestock products*. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Fekadu, T., Esatu, W., Takele, D., Tesfaye, E., Zewdie, Y., Amssalu, K., Yirgu, T., Endawek, M., Shiferaw, S., Million, B., Yitayih, M., & Dessie, T. (2022). *Ethiopia National Poultry Development Strategy 2022-2031*.
- Frank, A. L., McKnight, R., Kirkhorn, S. R., & Gunderson, P. (2004). Issues of agricultural safety and health. *Annual Review of Public Health*, 25, 225–245. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV.PUBLHEALTH.25.101802.123007>
- Galgani, P., Van Veen, B., Kanidou, D., De Adelhart Toorop, R., & Woltjer, G. (2023). *True price assessment method for agri-food products*. <https://edepot.wur.nl/585906>
- Galgani, P., Woltjer, G., De, R., Toorop, A., & De Groot Ruiz, A. (2021). *Fossil fuel and other non-renewable material depletion: True pricing method for agri-food products*. <https://www.wur.nl/nl/Onderzoek->
- Galgani, P., Woltjer, G., De, R., Toorop, A., De Groot Ruiz, A., Schoenmaker, D., Berntsen, P., Vermeulen, W., Lansink, A. O., Hoosemans, R., Nuhoff-Isakhanyan, G., Baltussen, W., Van Den Idsert, B., Varoucha, E., & Harmens, R. (2021). *Valuation framework for true price assessment of agri-food products*. <https://edepot.wur.nl/588067>
- Global Reporting Initiative. (2021). *How to use the GRI Standards*. URL: <https://www.globalreporting.org/how-to-use-the-gri-standards/gri-standards-english-language> (Accessed: 01.07. 2022).
- Gržinić, G., Piotrowicz-Cieślak, A., Klimkowicz-Pawlas, A., Górny, R. L., Ławniczek-Wałczyk, A., Piechowicz, L., Olkowska, E., Potrykus, M., Tankiewicz, M., Krupka, M., Siebielec, G., & Wolska, L. (2023). Intensive poultry farming: A review of the impact on the environment and human health. *Science of the Total Environment*, 858. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160014>
- Harmens, P. (2023). *Beyond the market price: An investigation into the true price of broiler meat production in the Netherlands*. <https://edepot.wur.nl/641471>
- Havelaar, A. H., Sapp, A. C., Amaya, M. P., Nane, G. F., Morgan, K. M., Devleeschauwer, B., Grace, D., Knight-Jones, T., & Kowalczyk, B. B. (2022). Burden of foodborne disease due to bacterial hazards associated with beef, dairy, poultry meat, and vegetables in Ethiopia and Burkina Faso, 2017. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 1024560. <https://doi.org/10.3389/FSUFS.2022.1024560/BIBTEX>
- Heinke, J., Lannerstad, M., Gerten, D., Havlík, P., Herrero, M., Notenbaert, A. M. O., Hoff, H., & Müller, C. (2020). Water Use in Global Livestock Production—Opportunities and Constraints for Increasing Water Productivity. *Water Resources Research*, 56(12). <https://doi.org/10.1029/2019WR026995>
- Huijbregts, M. A. J., Steinmann, Z. J. N., Elshout, P. M. F., Stam, G., Verones, F., Vieira, M., Zijp, M., Hollander, A., & van Zelm, R. (2017). ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. *SpringerMAJ Huijbregts, ZJN Steinmann, PMF Elshout, G Stam, F Verones, M Vieira, M ZijpThe International Journal of Life Cycle Assessment, 2017•Springer*, 22(2), 138–147. <https://doi.org/10.1007/S11367-016-1246-Y>
- Huisman, I., Groenestein, C. M., Vellinga, T. V., & Pishgar-Komleh, S. H. (2025). Developing a Greenhouse Gas Emission Model for Sport Horses: Case Studies in Dressage and Jumping. *Animal*, 101622. <https://doi.org/10.1016/J.ANIMAL.2025.101622>
- Hyvärinen, J. (2024). *Life Cycle Assessment of Poultry Slaughterhouse By-Product Treatment Methods* [University of Tampere]. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/158177/HyvarinenJennifer.pdf?sequence=4>
- ILO. (2004). *Investing in Every Child: An Economic Study of the Costs and Benefits of Eliminating Child Labour*. <https://ecommons.cornell.edu/server/api/core/bitstreams/c7ce9579-ae09-49d0-941c-2c7b6c4dd925/content>
- Jerlström, J. (2013). *Animal welfare in Ethiopia*. <https://doi.org/https://epsilon.slu.se/>
- Jez, C., Beaumont, C., & Magdelaine, P. (2011). Poultry production in 2025: Learning from future scenarios. *World's Poultry Science Journal*, 67(1), 105–114. <https://doi.org/10.1017/S0043933911000092>
- Kang, H., Hwang, Y., Lee, J., Cho, S., ... Y. J.-F. and B., & 2025, undefined. (n.d.). Evaluating the greenhouse gas emissions footprint of chicken meat production in South Korea: A life cycle perspective. *Elsevier*. Retrieved July 14, 2025, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960308525000173>
- Kim et al. (2022). *Measuring and Mitigating GHGs: Chicken*. https://files.worldwildlife.org/wwfcmprod/files/Publication/file/fc8b1h7k_MOBERG_GHG_Brief_CHICKEN_06_22_v5.pdf
- Kumie, A., Amara, T., Berhane, K., Samet, J., Hundal, N., Michael, F. G., & Gilliland, F. (2016). Occupational Health and Safety in Ethiopia: A review of Situational Analysis and Needs Assessment. *The Ethiopian Journal of Health Development* = *Ya'Ityopya Tena Lemat Mashet*, 30(1 Spec Iss), 17. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5578617/>
- Leinonen, I., & Kyriazakis, I. (2016). How can we improve the environmental sustainability of poultry production? *Proceedings of the Nutrition Society*, 75(3), 265–273. <https://doi.org/10.1017/S0029665116000094>
- Leslie, J. F., Mishra, A., Thebault, A., Havelaar, A. H., & Sapp, A. C. (n.d.). *Burden of foodborne disease due to bacterial hazards associated with beef, dairy, poultry meat, and vegetables in Ethiopia and Burkina Faso, 2017*. Retrieved <https://vizhub.healthdata.org/gbd-compare/>,
- Lynch, J., Cain, M., Frame, D., & Pierrehumbert, R. (2021). Agriculture's Contribution to Climate Change and Role in Mitigation Is Distinct From Predominantly Fossil CO₂-Emitting Sectors. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 518039. <https://doi.org/10.3389/FSUFS.2020.518039/BIBTEX>
- MacLeod, M., G. P., M. A., T. G., F. A., O. C., V. T., H. B. & S. H. ;Animal P. and H. D. (2013). Greenhouse gas emissions from pig and chicken supply chains – A global life cycle assessment. *Breeding Plans for Ruminant Livestock in the Tropics*, 75–110. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i3460e>
- Ma, F., Xu, S., Tang, Z., Li, Z., & Zhang, L. (2021). Use of antimicrobials in food animals and impact of transmission of antimicrobial resistance on humans. *Biosafety and Health*, 3(1), 32–38. <https://doi.org/10.1016/j.bsheat.2020.09.004>





- Mazengia, Siraw, G., & Nega, M. (n.d.). Challenges and prospects of village-based exotic chicken development strategy in Amhara regional state, Northwest Ethiopia. *Global Journal of Science Frontier Research Agriculture and Veterinary Sciences*, 12, 41–49.
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2012). A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products. *Ecosystems*, 15(3), 401–415. <https://doi.org/10.1007/s10021-011-9517-8>
- Mottet, A., & Tempio, G. (2017). Global poultry production: current state and future outlook and challenges. *World's Poultry Science Journal*, 73(2), 245–256. <https://doi.org/10.1017/S0043933917000071>
- Omer, A., Hailu, D., & Whiting, S. J. (2022a). Effect of a Child-Owned Poultry Intervention Providing Eggs on Nutrition Status and Motor Skills of Young Children in Southern Ethiopia: A Cluster Randomized and Controlled Community Trial. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2022, Vol. 19, 19(22). <https://doi.org/10.3390/ijerph192215305>
- Omer, A., Hailu, D., & Whiting, S. J. (2022b). Effect of a Child-Owned Poultry Intervention Providing Eggs on Nutrition Status and Motor Skills of Young Children in Southern Ethiopia: A Cluster Randomized and Controlled Community Trial. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(22), 15305. <https://doi.org/10.3390/IJERPH192215305/S1>
- Perić, L., Rodić, V., & Milošević, N. (2011). PRODUCTION OF POULTRY MEAT AND EGGS AS FUNCTIONAL FOOD-CHALLENGES AND OPPORTUNITIES. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 27(3), 511–520. <https://doi.org/10.2298/BAH1103511P>
- Salaries in Ethiopia - Paylab.com. (n.d.). Retrieved June 2, 2025, from <https://www.paylab.com/et?lang=en#>
- Salminen, E., Einola, J., & Rintala, J. (2003). The methane production of poultry slaughtering residues and effects of pre-treatments on the methane production of poultry feather. *Environmental Technology*, 24(9), 1079–1086. <https://doi.org/10.1080/09593330309385648>
- Sarba, E. J., Kelbesa, K. A., Bayu, M. D., Gebremedhin, E. Z., Borena, B. M., & Teshale, A. (2019). Identification and antimicrobial susceptibility profile of *Escherichia coli* isolated from backyard chicken in and around Ambo, Central Ethiopia. *BMC Veterinary Research*, 15(1). <https://doi.org/10.1186/S12917-019-1830-Z>
- Seidavi, A. R., Zaker-Esteghamati, H., & Scanes, C. G. (2019). Present and potential impacts of waste from poultry production on the environment. *World's Poultry Science Journal*, 75(1), 29–42. <https://doi.org/10.1017/S0043933918000922>
- Sime, A. G. (2022). Review on poultry production, processing, and Utilization in Ethiopia. *International Journal of Agricultural Science and Food Technology*, 8(2), 147. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.17352/2455-815X.000156>
- Sousa, F. C. de, Tinôco, I. de F. F., Silva, J. N. da, Baptista, F. de J. F. B., Souza, C. de F., & Silva, A. L. da. (2017). Gas emission in the poultry production. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 5(2), 49–55. <https://doi.org/10.26667/2318-1265jabb.v5n2p49-55>
- Suffian, S. A., Sidek, A. A., Matsuto, T., Al-Hazza, M. H., Yusof, H. M., & Hashim, A. Z. (2018). Greenhouse gas emission of broiler chicken production in Malaysia using life cycle assessment guidelines: A case study. *International Journal of Engineering Materials and Manufacture*, 3(2), 87–97. <https://doi.org/https://doi.org/10.26776/ijemm.03.02.2018.03>
- Tegegne, A. A., Mekasha, Y. T., Ayu, A. A., Hasen, G., & Suleman, S. (2024). A review on emerging pharmaceutical residues in Ethiopia: occurrence, ecotoxicological aspects, and regulatory concerns. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1499487. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2024.1499487>
- True Price Foundation, & Impact Economy Foundation. (2020). *Principles for True Pricing*. <https://www.truepricefoundation.org/publications/principles-for-true-pricing/>
- Tubiello, F. N., Salvatore, M., Ferrara, A. F., House, J., Federici, S., Rossi, S., Biancalani, R., Condor Golec, R. D., Jacobs, H., Flammini, A., Prosperi, P., Cardenas-Galindo, P., Schmidhuber, J., Sanz Sanchez, M. J., Srivastava, N., & Smith, P. (2015). The Contribution of Agriculture, Forestry and other Land Use activities to Global Warming, 1990–2012. *Global Change Biology*, 21(7), 2655–2660. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/gcb.12865>
- UN OHCHR. (2011). *GuidinG PrinciPles on Business and Human riGHts Implementing the United Nations “Protect, Respect and Remedy” Framework*. https://www.ohchr.org/sites/default/files/documents/publications/guidingprinciplesbusinessshr_en.pdf
- Urgesa, L. (2023). Review on poultry production system, trends and development strategies in Ethiopia. *Journal of Aquaculture & Livestock Production*, 4(3), 1–5. [https://doi.org/10.47363/JALP/2023\(4\)125](https://doi.org/10.47363/JALP/2023(4)125)
- Vaarst, M., Steenfeldt, S., & Horsted, K. (2015a). Sustainable development perspectives of poultry production. *World's Poultry Science Journal*, 71(4), 609–620. <https://doi.org/10.1017/S0043933915002433>
- Vaarst, M., Steenfeldt, S., & Horsted, K. (2015b). Sustainable development perspectives of poultry production. *World's Poultry Science Journal*, 71(4), 609–620. <https://doi.org/10.1017/S0043933915002433>
- Valentin, A., & Spangenberg, J. H. (2000). A guide to community sustainability indicators. *Environmental Impact Assessment Review*, 20(3), 381–392. [https://doi.org/10.1016/S0195-9255\(00\)00049-4](https://doi.org/10.1016/S0195-9255(00)00049-4)
- Wang-Li, L. (n.d.). *Improvement and Application of a New Ammonia Emission Inventory for Poultry and Swine Production in North Carolina*. (Under the direction of Dr.
- WANG, L. zhi, XUE, B., & Yan, T. (2017). Greenhouse gas emissions from pig and poultry production sectors in China from 1960 to 2010. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(1), 221–228. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61372-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61372-2)
- Wilson, R. T. (2021). Citation: Wilson RT. An Overview of Traditional Small-Scale Poultry Production in Low-Income, Food-Deficit Countries. *Ann Agric Crop Sci*, 6(3). <https://doi.org/10.26420/annagriccropsci.2021.1077>
- Woldegiorgiss, W. E., & Siraw, B. (n.d.). *Status of Commercial Poultry Production in Ethiopia*. Retrieved <https://www.researchgate.net/publication/324586874>
- World Bank. (2012). Renewable energy desalination: an emerging solution to close the water gap in the Middle East and North Africa. In *Renewable Energy Desalination*. The World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-8838-9>





Welfare Impact of Urban Agriculture in Ethiopia: Evidence from a Multinomial Endogenous Switching Regression Model

Tadele Anagaw Zewdu^{1*}

¹ Department of Agricultural Economics, College of Agriculture and Natural Resource, Salale University, Fitcha, Ethiopia, Postal Code 245

Abstract

Using primary data collected from 384 urban households in North Shewa Zone, Oromia Region of Ethiopia, this study examined the impacts of urban agriculture (UA) on household welfare, as measured by consumption expenditure. A multinomial logistic regression model was applied to identify factors influencing participation in three UA types: horticultural crop production, livestock rearing, and both combined. To estimate the welfare effects while addressing selection bias and unobserved heterogeneity, a Multinomial Endogenous Switching Regression (MESR) model was used. The multinomial model results indicated that family size, gender of the household head, landholding size, access to water, improved inputs, extension services, and non-farm income significantly influenced participation. According to the MESR model, households engaged solely in horticulture or livestock earned average consumption gains of 2,557.24 ETB and 2,867.36 ETB, respectively, while those participating in both saw gains of 1,370.76 ETB. Counterfactual analysis revealed that non-participants could have gained up to 24,393.15 ETB or 27,400.32 ETB. These amounts are significant compared to the average expenditure of 6,733.33 ETB; highlighting UA's potential to improve welfare. Enhancing access to land, credit, water, and support services is essential to promote wider participation.

Keywords: Consumption Expenditure; Household Welfare; Urban Agriculture; Multinomial Endogenous Switching Regression; Ethiopia

Introduction

Introduction

Urban agriculture (UA) is increasingly recognized as a crucial strategy for enhancing household welfare in Ethiopia's rapidly urbanizing regions. Traditionally dominated by rural farming, Ethiopia's agricultural sector still contributes about 34% to GDP and employs nearly 70% of the population (World Bank, 2020). However, with growing rural-to-urban migration, rising population, and structural transformation, urban households now face mounting challenges such as food insecurity, unemployment, and high living costs. In response, many have turned to urban agriculture, the cultivation of crops and rearing of livestock within and around urban areas, as a practical and accessible livelihood strategy.

Urban agriculture (UA), the practice of cultivating crops and rearing livestock within or near urban areas has gained increasing global recognition as a strategy to enhance food security, generate income, and improve household welfare, particularly in low and middle-income countries (Drechsel, P., & Dongus, S., 2010; Zezza, A., & Tasciotti, L., 2010). In Ethiopia, however, despite its growing socioeconomic relevance, UA remains largely marginalized within national and municipal policy frameworks. Local bylaws and urban land regulations often restrict or discourage agricultural activities in cities (Girma, A., 2010; Wolday, A., et al., 2018) even as rural migrants and poor households continue to adapt traditional farming practices to urban contexts. In regions like the North Shewa Zone, adjacent to Addis Ababa, favorable agro-climatic conditions and market proximity have increased the viability of urban farming (Gebremedhin & Mulat, 2021).

Nevertheless, the expansion of UA is hampered by systemic barriers such as insecure land tenure, limited access to water, rising input costs, poor infrastructure, and inadequate institutional support. These constraints are particularly acute for women and low-income households, who often face exclusion from essential services such as credit, extension, and land allocation (Hagos et al., 2023). While prior research has acknowledged the potential of UA, limited empirical evidence exists on how different forms such as horticulture, livestock, or mixed practices affect household welfare through pathways like improved income, dietary diversity, and reduced food expenditure. This study builds on a theoretical framework in which UA participation influences income and access to productive resources, which in turn affect household consumption expenditure a widely accepted proxy for welfare (Deaton, A., 1997). However, these welfare outcomes are mediated by structural constraints, including gender inequality, land scarcity, and institutional capacity (Cofie O., et al., 2006). By integrating these insights into a conceptual model and employing a Multinomial Endogenous Switching Regression (MESR) approach, this study aims to fill existing knowledge gaps and assess the differentiated welfare impacts of UA participation in Ethiopia's North Shewa Zone.

Although some studies have explored the factors that influence participation in urban agriculture, few have rigorously assessed its actual impact on household welfare, particularly in peri-urban areas such as North Shewa,





where empirical evidence is lacking. Moreover, past research has often failed to correct for selection bias and unobserved heterogeneity between participants and non-participants, leading to potentially inaccurate conclusions. This study addresses those gaps by applying a Multinomial Endogenous Switching Regression (MESR) model to estimate the causal welfare effects of participating in different types of urban agriculture (horticulture, livestock, or both). Household welfare is proxied by consumption expenditure, a widely accepted indicator of economic well-being in development economics (Hagos et al., 2023).

This study aims to fill the knowledge gap by (i) identifying the socio-economic and institutional factors influencing household participation in different forms of urban agriculture, (ii) estimating the welfare impacts of horticulture, livestock, and mixed urban agriculture activities using a Multinomial Endogenous Switching Regression (MESR) model, and (iii) comparing the welfare outcomes of participants with non-participants in North Shewa Zone, Oromia, Ethiopia. To the researcher's knowledge, this is the first study to apply the MESR model to urban agriculture in this region, offering a novel empirical contribution. By examining both the drivers and impacts of urban agriculture participation, the findings aim to inform evidence-based policies that promote inclusive and sustainable urban food systems in Ethiopia.

Literature Review

Existing literatures¹ (Appendix 1) on urban agriculture (UA) in Africa remains limited and fragmented, often lacking comprehensive empirical analysis of its socio-economic impacts on household welfare. Foundational studies by (Maxwell D., et al., 1998; Mougeot, L. et al., 2005; Orsini, F., et al., 2013) have emphasized the role of UA in enhancing food security and income generation among urban households. However, these studies typically do not apply rigorous econometric techniques to isolate causal impacts. More recent research has begun to address this gap by incorporating household-level production and welfare data. For example, (Simatele, D., et al., 2008; Onyango, G. et al., 2018) documented the heterogeneous nature of UA participation and its diverse outcomes. Yet, many of these analyses overlook potential issues of selection bias and endogeneity associated with participation decisions.

To address these methodological limitations, this study adopts the Multi-Outcome Endogenous Switching Regression (MESR) model, which allows simultaneous estimation of participation decisions and outcome equations, thereby accounting for self-selection and unobserved heterogeneity (Heckman, J. J. 1979; Lokshin, M., & Sajaia, Z. 2004). Although MESR and related ESR frameworks have been widely used in agricultural and labor economics (e.g., Di Falco, S., Veronesi, M., & Yesuf, M., 2011; Kassie, M., Teklewold, H., Jaleta, M., Marennya, P., & Erenstein, O. 2015) their application to urban agriculture in African contexts remains rare. This study contributes to filling that gap by applying MESR to analyze the welfare effects of UA in North Shewa Zone, Ethiopia.

Several recent African studies have demonstrated the effectiveness of MESR models in uncovering nuanced impacts of agricultural practices. For instance, (Yitbarek, E., & Tesfaye, K., 2022) employed MESR to evaluate the effects of climate-smart agriculture and non-farm employment on household welfare in Ethiopia, finding significant improvements in food consumption and poverty reduction. Similarly, (Owusu Asante, F., Al-Hassan, R., & Kuwornu, J. K. M., 2024) used MESR and inverse-probability weighted regression to assess access to bundled agricultural services, concluding that combined access to credit, extension, and input services led to higher food consumption and income. Tesfay, G., (2020) Utilized an ESR model to show that fertilizer adoption in Northern Ethiopia increased household income and commercialization levels, while effectively correcting for selection bias.

Urban-specific studies have also begun to emerge. Guta, L. J., & Irge, T. W., (2022) in Bako Town, applied multinomial logistic regression and propensity score matching to examine both determinants and welfare impacts of UA, finding that participation significantly enhanced household food security and was shaped by access to land, water, and inputs. In a broader regional review, (Kiribou, T., Ayele, S., & Alemu, M., 2024) synthesized findings from Sub-Saharan Africa, highlighting UA's contributions to nutrition and resilience among low-income households, while calling for integrated policies supporting water, sanitation, and extension services.

Recent empirical studies highlight the complexity of UA's socio-economic and health outcomes. In peri-urban Kenya, (Njiru, J., Otieno, J., & Onyango, L., 2024). demonstrated that while UA improved food and nutrition security, it also posed health risks due to wastewater use and heavy metal exposure, underlining the need for harmonized food production and public health policies. In Addis Ababa, Ethiopia, (Alemu, D., Abebe, G., & Tadesse, T., 2025) found that UA participation enhanced dietary diversity and total food consumption; the study emphasized the importance of compost reuse and vertical gardening, recommending the scaling of these practices to improve urban nutrition in space-constrained environments.

In peri-urban Kenya, a 2024 study demonstrated that while UA improved food and nutrition security, it also posed health risks due to wastewater use and heavy metal exposure, underlining the need for harmonized food production and public health policies. In Addis Ababa, a 2025 study found that UA participation enhanced dietary

¹ Summary of studies conducted on impact of urban agriculture on households' welfare





diversity and total food consumption. The study emphasized the importance of compost reuse and vertical gardening and recommended scaling these practices to improve urban nutrition in space-constrained environments.

Complementing MESR-based analyses, (Nyambane, A., Okoth, J., & Mwangi, P., 2023) used panel data and fixed-effects models to examine the income dynamics of urban farmers in Nairobi, showing that access to land tenure security and credit positively influenced sustained UA participation and income growth. Similarly, (Mburu, P., & Wanjiku, R., 2023) employed mixed-methods and regression discontinuity design to assess UA's role in poverty alleviation in Kisumu, Kenya, finding that UA serves as a critical buffer against urban food insecurity during economic shocks.

Together, these recent contributions underscore the importance of applying advanced econometric models such as MESR to accurately assess the multifaceted effects of urban agriculture. This study builds on and extends this growing body of work by focusing on the Ethiopian context, offering evidence-based insights for policy aimed at inclusive and sustainable urban food systems.

Research Methodology

This research adopted cross-sectional study design used both quantitative and qualitative approaches to achieve the study objectives. Both primary and secondary data were employed. Primary data was gathered through face-to-face interviews using structured questionnaires translated into local language (Afan Oromo) to ensure local understanding, along with qualitative data from focus group discussions and key informant interviews. Secondary data was collected from sources such as the district agricultural office, CSA reports, journal articles and online platforms. All data collection activities were carried out by well-trained enumerators experienced in conducting households' survey.

Sampling Technique and Sample Size Determination

Multistage stratified sampling procedure was employed to address population heterogeneity, particularly the inclusion of both participants and non-participants in urban agriculture. The sampling followed a three stage process: first Fitch town was purposively selected due to its active urban agriculture and status as the administrative center of North Shewa Zone. Second, three out of four urban *kebeles* (the smallest administrative unit in Ethiopia) were randomly selected. Third, households were stratified into participants and non-participants based on lists from administrative offices, and respondents were then randomly selected using probability proportional to population size. In addition, key informants (5 per kebele) and focus group discussions (FGD) participants (6-8 per kebeles) were purposively selected based on their knowledge and experience in urban agriculture practices and household livelihoods.

The sample size is calculated using Cochran's formula (Cochran, W. G., 1977). for populations with unknown variability and used $p = 0.5$, explaining that it maximizes variability and is appropriate when no prior estimate is available.

$$n = \frac{Z^2 pq}{e^2} = \frac{(1.96)^2 (0.5)(0.5)}{(0.05)^2} = 384$$

- n = required sample size
- Z = Z-value at 95% confidence level (1.96)
- p = estimated proportion (0.5)
- $q = 1 - p$ (0.5)
- e = margin of error (5%)

Table 1 summarizes the number of households based on their participation in urban agriculture. These are divided into four groups (called "regimes" in the model): those who do not participate at all, those who produce only horticultural crops (like vegetables or fruits), those who rear livestock only and those involved in both activities. This classification helps to analyze how different types of urban agriculture may affect household welfare.

Table 1. Distribution of Households by Urban Agriculture Participation Category

Participation category (regime)	Description	Number of households
Regime 1	Non-participant	132
Regime 2	Horticultural crop producer only	75
Regime 3	Livestock rearing only	88
Regime 4	Both horticulture & livestock producers	89
Total		384

Source: Author's own survey data, 2024; Note: "Regime" refers to each distinct group of households categorized by their type of urban agriculture participation.





Variable Definition and Measurement

Table 2 below presents the definition, measurement, and coding of both the dependent (outcome) and independent (explanatory) variables used in the analysis. The outcome variable in this study is household welfare, proxied by total household consumption expenditure. Explanatory variables include demographic, socio-economic, institutional, and perceptual factors that may influence participation in urban agriculture and household welfare outcomes. Each variable is described along with its unit of measurement or coding format to enhance clarity and transparency for replication. These variables were selected based on theoretical relevance and empirical evidence from previous studies on urban agriculture and household welfare.

Table 2. Definition and measurement of variables

Variables	Definition and measurement	Hypothesis
1. Outcome Variable		
Participation in Urban Agriculture Activities:	$= Y_1 =$ Horticultural crop producer, $Y_2 =$ Livestock producer, $Y_3 =$ Both crops & livestock $Y_0 =$ non – participants	
Household Consumption Expenditure:	Consumption Expenditure per Adult Equivalent	
2. Independent Variables		
Sex	Sex of the household head, 1 if male, 0 otherwise	+
Age	Age of the household head in years	-
Family size	Total number of people permanently living in the family	+/-
Education	Education level of the household head in years of schooling	+
Land	Total land holding size in hectares	+
Income	Total annual Income from other sources in Birr	+
Cooperative Membership	Households cooperative membership, 1 if members of a cooperative and 0 otherwise	+
Credit received	Amount of credit access In Ethiopian Birr	+
Water	Availability of water resource, 1 for had water, otherwise 0	+
Extension	Access to extension service, 1 for obtained extension, otherwise 0	+
input	Access to improved inputs, 1 for got improved inputs, 0 otherwise	+
Market	Distance to better market access in kilometre	-
Perception	Positive perception about benefits of UA, 1 for gaining benefit from participation & 0 otherwise	+

Source: Own definition based on literature review, 2024.

Estimation Methods

To meet the study's objectives, both descriptive and inferential statistical techniques were applied using Stata version 17. Descriptive statistics (means, percentages, and standard deviations) were used to summarize household characteristics, while t-tests and chi-square tests assessed statistical differences between groups.

Econometric Model Specification

The objective of this study suggests a potential endogeneity issue in urban agriculture (UA) participation, as it is a self-selected activity where households do not have equal probabilities of engaging. This introduces selection bias, making ordinary least squares (OLS) methods inappropriate due to their inability to produce consistent estimates under such conditions (Rahut, D. B., 2017). While Propensity Score Matching (PSM) has commonly been used in non-experimental survey research to address selection bias, it only accounts for observable factors. This limitation justifies the use of the Endogenous Switching Regression (ESR) model, which accommodates both observed and unobserved heterogeneity by employing a full information maximum likelihood (FIML) approach (Lokshin, M., & Sajaia, Z., 2004). The ESR model simultaneously estimates the determinants of participation (selection equation) and its impact on welfare (outcome equation), providing a more integrated understanding of differences between participants and non-participants.

However, the ESR model is constrained to binary treatment regimes, typically distinguishing only between participants and non-participants. In the case of this study, where households may participate in horticulture, livestock, both, or none, a more flexible model is required. The Multinomial Endogenous Switching Regression (MESR) model extends the ESR framework to accommodate multiple regimes and is therefore more appropriate for this context (Kassie, M., Teklewold, H., Jaleta, M., Marenja, P., & Erenstein, O., 2015). Accordingly, this study employs the MESR model, drawing from the specifications of (Belay, M., & Mengiste, M., 2021), to estimate the welfare effects of different forms of UA participation through a two-stage estimation process.

Stage-I Multinomial Logit Regression (MNL) Model Specification

In the first stage, the household's decision to participate in urban agriculture will be modeled using a multinomial logit regression (MNL), which accounts for the interrelationships among different activities: horticultural crop production, livestock production, both combined, and non-participation. The multinomial logistic model extends the binary logistic regression to handle dependent variables with more than two nominal or unordered categories by creating dummy variables for all but one reference category, resulting in M-1 binary





Following (Kassie, M., et al., 2015; Teklewold, H., et al., 2013) the second stage of the MESR is estimated as follows, including the correction terms:

$$\begin{aligned} \text{Regime 1: } W_{i1} &= X_i\beta_1 + \mu_{i1} + \sigma_1\theta_1 \text{ if } P = 1 \\ \text{Regime J: } W_{ij} &= X_i\beta_j + \mu_{ij} + \sigma_j\theta_j \text{ if } P = j \end{aligned} \quad (5)$$

Where σ_j is the covariance between the error terms ε_{ij} and μ_{ij} , and θ_j is the inverse Mills ratio IMR (to address issues related to sample selection bias and to improve the estimation of models where the dependent variable is not observed for all subjects) to be estimated using the predicted probabilities from the multinomial logit model in Equation (3). The IMR is given as:

$$\theta_j = \sum_{z \neq 1}^j \rho_j \left(\frac{p_{iz} \ln(p_{iz})}{1 - p_{iz}} \right) \quad (6)$$

Where ρ is the correlation coefficient of the error terms ε_{ij} & μ_{ij} . The error terms have expected mean value of zero. Practically, there is a possibility of heteroscedasticity in generating the regressor in the model, hence; standard errors are bootstrapped to account the problem.

In order to control for unobserved heterogeneity in estimating the welfare effects of the practice, we will use access to extension services, and distance to improved market access as instruments. Other related empirical studies (e.g., Khonje, M., et al., 2018; Abdulai, A., & Tesfaye, A., 2016) have employed these variables as instruments. Agricultural extension agents disseminate information about on how to participate on different urban agricultural practices in terms of benefits, costs, access, and best application procedures. Market access, captured by distance is also vital and critical driver of access to improve agricultural practices. The chosen instrument should generally satisfy two conditions; correlated with the endogenous variable(s), but uncorrelated with the outcome variable(s).

Conditional Expectations and Average Treatment Effects

The multinomial endogenous switching regression model is used to compute both the average treatment effect on the treated (ATT) and the untreated (ATU). This can be done by a simple comparison of the expected values of the outcome of the treated (participants) and untreated (non- participant) in actual and counterfactual situations. Following, (Khonje, M., et al., 2018; Kassie, M., Tet al., 2015) the conditional expectations for the outcome variables in both the observed and their counterfactual scenarios can be specified as follows:

Actual expectations observed in the sample (participants in urban agriculture):

$$E[W_{ij}|p = j] = X_i'\beta_{ij} + \sigma_j\theta_j \text{ If } P = j \text{ (j = 2, 3, 4)} \quad (7a)$$

Counterfactual expected outcomes:

$$E[W_{i1}|p = j] = X_i'\beta_{i1} + \sigma_1\theta_j \text{ If } P = j \text{ (j = 2, 3, 4)} \quad (7b)$$

Such that the average treatment effect (ATT) of each alternative agriculture activity is the difference between the actual and counterfactual as:

$$ATT = E[W_{ij}|p = j] - E[W_{i1}|p = j] = X_i(\beta_j - \beta_1) + \theta_j(\sigma_j - \sigma_1) \quad (8)$$

where the first term is the difference in mean outcome of participants and non- participants that they have the same observed characteristics, while the second term is the selection correction that indicate the change in outcome resulting from differences in unobserved factors. These will be estimated using the *selmlog* (for continuous outcome variables) and *mtreatreg* (for binary outcome variables) in Stata 17.

To ensure robustness of our estimates, the researcher performed covariate balance tests comparing socio-economic and institutional characteristics between urban agriculture participants and non-participants. Results indicate satisfactory balance after controlling for confounding factors, supporting the validity of the counterfactual comparisons. The MESR model assumes independence of irrelevant alternatives (IIA) in the multinomial logit choice model, which was tested using Hausman tests and found not to be violated. Instrument exogeneity was validated by confirming that instruments such as access to extension services and distance to markets affect participation decisions but have no direct effect on household welfare outcomes. Bootstrapped standard errors were applied to account for heteroscedasticity and improve estimate reliability.

Results and Discussions





Descriptive and Inferential Statistics

From the total sample, 65.90% of households participated in urban agriculture, while 34.10% did not engage in any form of urban farming (Table 3 above). Among participants, 19.33% specialized in horticultural crop production, 25.23% were involved in livestock rearing only, and 23.18% practiced both horticulture and livestock activities. This indicates that a majority of households rely on urban agriculture as a livelihood strategy, with a notable portion adopting a mixed production system, likely to enhance income and food security. The substantial share of non-participants highlights existing access barriers, underscoring the need for supportive policies that enable broader inclusion.

Tables 4 and 5 summarize the awareness of benefiting from participating in urban agriculture and socio-demographic characteristics of the households based on their participation in urban agriculture activities.

The result shows that a significantly higher proportion of male-headed households (96.6%) participated in urban agriculture compared to only (3.4%) of female-headed households. Similarly, households with access to extension services were significantly more likely to engage in urban agriculture than those without access.

Table 5 also demonstrates that households who are participated in urban agricultural activities are younger, educated, and have more assets than their counterparts. Others can also be explained using the same fashion. However, we cannot draw any conclusion as these differences can be partially or totally due to other confounding factors.

Table 3. Household Distribution by Urban Agriculture Participation Category

Participation category (regime)	Description	%
Regime 1	Non-participant	34.10
Regime 2	Horticultural crop producer only	19.33
Regime 3	Livestock rearing only	25.23
Regime 4	Both horticulture & livestock producers	23.18
Total		100

Table 4. Distribution of Categorical Explanatory Variables by Type of Urban Agriculture Participation

Variable	Categories	Participant (%)	Not-participant (%)	χ^2 (p-value)
Sex	Male	96.60	62.30	53.36***
	Female	3.40	37.70	
Improved Inputs	Yes	74.70	0.00	120.26***
	No	25.30	100.00	
Extension contact	Yes	60.70	28.60	22.17***
	No	39.30	71.40	
Perception	Yes	47.80	35.10	3.51*
	No	52.20	64.90	
Cooperative Membership	Yes	60.70	42.90	6.90**
	No	39.30	57.10	
Water Resource Availability	Yes	56.20	5.20	57.85***
	No	43.80	94.80	

Note: ***, **and * significant at $p < 0.01$, $p < 0.05$ and $p < 0.1$ respectively, Source: own survey result of 2024.

Table 5. Descriptive Statistics of Continuous Explanatory Variables Used in the Analysis

Variable	Participant	Not Participant	Total mean	t-value
	Mean	Mean	Mean	
Age	45.18	49.83	46.58	4.78***
Education level	2.09	1.72	1.98	0.77
Family size	6.19	5.36	5.94	3.67***
Amount of credit	2056.00	2000.00	2039.00	1.16
Land holding size	1.06	1.05	1.06	2.10
Income from other sources	20489.33	13916.88	18504.71	4.08***
Distance to better market	1.62	1.55	1.600	-0.98

Note: ***, **and * significant at $p < 0.01$, $p < 0.05$ and $p < 0.1$ respectively, Source: own survey result of 2024.

Determinants of Participation in Urban Agriculture





The multinomial model regression results of the factors influencing participation in urban agriculture are presented (Table 6 below). The base category is non-participation in urban agriculture. The joint significance of determinant variables suggests that variations in urban development policies and local environmental conditions across cities play a significant role in determining household participation in urban agriculture, weather for horticultural crop production, livestock rearing, or both which in turn affects their welfare outcomes.

The table indicates that household demographic, socioeconomic and location specific factors significantly influence the decision to engage in urban agriculture. Specifically, participation in horticulture crop-based urban agriculture is positively influenced by several factors including larger family size, greater land holding size, access to reliable water source, income from non-agricultural activities, and favourable households' perception towards urban agriculture. Likewise, engagement in urban livestock rearing is positively influenced by sex of household head, larger family size, access to improved agricultural inputs, and access to adequate water source. In the case of combined participation in both horticultural crop production and livestock rearing within urban areas, positive factors include the sex of the household head, larger family size, access to improved agricultural inputs, and availability of reliable water source.

Sex of Household Head: The sex of the household head significantly affects participation in urban agriculture. Male-headed households are notably more likely to engage in livestock-only and combined horticulture-livestock activities, with positive coefficients of 3.85 and 2.92 respectively, both statistically significant at the 5% level. In practical terms, this means male-headed households are about 47 times more likely to engage in livestock production and 18.5 times more likely to participate in both activities compared to female-headed households. These substantial differences likely reflect gender-based barriers such as limited access to capital, land, or labor among female-headed households. Addressing these gaps through gender-sensitive interventions and targeted support could enhance women's participation and improve household welfare outcomes in urban agriculture.

Table 6. Multinomial Logit Estimates of Factors Influencing Participation in Urban Agriculture by Activity Type

Variables	Horticulture crop producers only	Livestock producers only	Both horticulture crop & livestock producers
Dependent variable: Household participation in horticulture, livestock, or both, relative to non-participation. Coefficients represent the log-odds of choosing each option. Standard errors in parentheses.			
Sex	16.02 (1253.42)	3.85** (1.30)	2.92** (1.11)
Age	-0.20** (0.074)	-0.09* (0.04)	-0.03 (0.04)
Education	-0.21 (0.13)	0.08 (0.07)	0.13 (0.07)
Family size	0.53* (0.25)	0.39* (0.15)	0.27* (0.15)
Land holding size	1.31* (0.75)	0.18 (0.52)	0.60 (0.50)
Improved Inputs	-0.39 (1.002)	2.62*** (0.54)	3.08*** (0.55)
Extension contact	1.002 (0.71)	0.13 (0.46)	-0.10 (0.47)
Amount of credit	-1.49 (1.21)	-0.39 (0.64)	0.31 (0.57)
Water Resource	1.12 (0.62)	1.02* (0.43)	0.73* (0.44)
Income from other sources	0.000080* (0.000038)	0.000029 (0.000019)	0.00003 (0.00002)
Perception	1.55* (0.66)	0.34 (0.44)	0.05 (0.45)
Distance to better market	0.20 (0.69)	-0.80* (0.43)	-0.23 (0.45)
Cooperative Membership	0.26 (0.67)	-0.56 (0.45)	-0.12 (0.47)
Constant	-10.80 (1253.42)	-2.18 (2.47)	-6.29** (2.38)

Number of observations = 384 Pseudo R² = 0.348

LR chi2 (11) = 219.0; Prob > chi2 = 0.0000 Log likelihood = -204.46797

Note: Odds Ratios (OR) are calculated as $OR = \exp(\text{coefficient})$. This represents the change in odds of the outcome associated with a one-unit increase in the predictor variable. An OR greater than 1 indicates increased odds, while an OR less than 1 indicates decreased odds.

Notes: Robust standard errors in parenthesis; non-participant is the reference category. ***, **and * significant at $p < 0.01$, $p < 0.05$ and $p < 0.1$ respectively; Source: own survey result of 2024.





Age of Household Head: The age of the household head has a negative and statistically significant effect on participation in urban agriculture. For each additional year of age, the likelihood of engaging in horticulture decreases by about 18.1%, and for livestock by roughly 8.6%, with coefficients of -0.20 and -0.09 , respectively (significant at 5% and 10%). This indicates that younger household heads are more inclined to participate, likely due to better physical capacity, greater adaptability to new practices, and a higher tolerance for risk. In contrast, older heads may be less involved due to physical limitations, health issues, or reluctance to adopt new agricultural methods. These findings underscore the importance of designing age-sensitive support programs that encourage broader participation across age groups.

Family Size: The positive and statistically significant coefficient of 0.53 (at the 10% level) indicates that each additional household member increases the likelihood of participating in urban agriculture whether in horticulture, livestock, or both by about 69.8%. This suggests that larger households are more inclined to engage in urban farming due to greater access to family labour. Activities like planting, watering, and weeding in horticulture, as well as feeding and caring for livestock, require consistent and intensive labour. With more household members, families can distribute these tasks more efficiently, reducing the need to hire external help. This highlights the importance of household labour capacity as a critical driver of participation in urban agriculture.

Landholding Size: The positive and statistically significant coefficient of 1.31 (at the 10% level) for horticultural crop production suggests that a one-unit increase in landholding size raises the odds of participating in urban horticulture by approximately 271.2%, holding other factors constant. This highlights land availability as a key enabler for urban households to engage in horticulture. More land allows families to grow a wider variety and quantity of crops, which can improve food security and generate additional income. Although land is also relevant for livestock and mixed farming, its influence appears strongest in horticulture. This emphasizes the importance of land access policies that specifically support urban households interested in crop production.

Access to Improved Inputs: Access to improved agricultural inputs is strongly and positively linked to household participation in urban agriculture, especially in livestock-only and combined horticulture-livestock systems. The coefficients of 2.62 and 3.08, both significant at the 1% level, indicate that households with access to inputs like quality feed, veterinary services, improved seeds, or tools are several times more likely to participate. These inputs reduce production risks, improve efficiency, and raise output quality, making urban farming more attractive and feasible. This finding highlights the critical role of input access in scaling up urban agriculture and suggests that expanding input distribution and support services should be a key policy focus.

Access to Reliable Water Source: Access to a reliable water source significantly increases the likelihood of participating in urban agriculture, especially in livestock-only and combined horticulture-livestock systems. The coefficients 1.02 for livestock and 0.73 for both activities are statistically significant at the 10% level, meaning households with dependable water access are about 177.3% and 107.7% more likely to participate, respectively. Water is crucial in urban farming where rainfall may be limited. It enables regular irrigation for crops and supports essential livestock needs such as drinking, cleaning, and maintaining hygiene. For households involved in both sectors, steady water access helps maintain continuous and efficient operations. These findings highlight the need for investments in urban water infrastructure to enhance the sustainability and inclusiveness of urban agriculture.

Non-Agricultural Income: Non-agricultural income has a positive and statistically significant effect on household participation in horticultural crop production, with a coefficient of 0.000080 (significant at the 10% level). While the value is numerically small due to the unit of measurement, it indicates that even small increases in off-farm income improve a household's ability to invest in urban farming. Such income helps cover costs for inputs like improved seeds, fertilizers, irrigation tools, and basic infrastructure. For households involved in both horticulture and livestock, diversified income sources also offer financial stability and reduce vulnerability to agricultural shocks. This finding underscores the importance of supporting non-farm income opportunities to enhance the viability of urban agriculture in low-resource settings.

Households' positive perception: A positive household perception of urban agriculture is significantly linked to participation in horticultural crop production. The coefficient of 1.55, significant at the 10% level, indicates that households with favorable attitudes are much more likely to engage in horticulture. This highlights the importance of mindset and awareness in shaping participation decisions. Promoting urban agriculture through education, training, and success stories can help shift perceptions and motivate more households especially in peri-urban areas to take up horticultural activities. This suggests that attitude-shaping interventions are as important as material support in expanding urban farming.

Impact of Urban Agriculture on Household Welfare

Table 7. Impact of Urban Agriculture on Household Welfare (Consumption) – ATT and ATU Estimates

Participation type	ATT (ETB)	ATU (Counterfactual Group) (ETB)
Horticulture crop production only	2557.24***	24393.15***
Livestock production only	2867.36*	27400.32***
Both Horticultural crop and livestock production	1370.76**	24393.15***

Note: ***, **and * significant at $p < 0.01$, $p < 0.05$ and $p < 0.1$ respectively, Source: own survey result of 2024.





The Average Treatment Effect on the Treated (ATT) captures the average welfare gain measured by household consumption expenditure experienced by those who actually participated in urban agriculture, indicating how much better off they are due to their involvement. In contrast, the Average Treatment Effect on the Untreated (ATU) reflects the potential welfare improvement non-participating households could have achieved had they participated. Additionally, the Average Treatment Effect (ATE) estimates the average welfare gain across all households in the sample if everyone had engaged in urban agriculture, offering a broader perspective on its overall potential impact. Together, these indicators help evaluate both the actual and unrealized benefits of urban agriculture and can guide policy interventions to support and expand participation, especially among underserved groups.

According to the MESR model results (Table 7), the estimated ATT for households engaged in horticultural crop production only is 2,557.24 Ethiopian Birr, indicating that, on average, these households spent 2,557.24 ETB more on consumption compared to what they would have spent had they not participated. Similarly, for households involved solely in livestock production, the ATT is 2,867.36 ETB, suggesting a comparable welfare gain resulting from their participation.

On the other hand, the estimated ATU for horticultural crop production only is 24,393.15 ETB, implying that households not participating in this activity could have increased their consumption expenditure by this amount on average if they had engaged in horticultural production. The same interpretation applies to ATU values for livestock-only and combined horticulture-livestock regimes.

These findings reveal a significant disparity between ATT and ATU values across urban agriculture categories. For instance, the potential gain for non-participants in horticulture (ATU = 24,393.15 ETB) far exceeds the actual gain for participants (ATT = 2,557.24 ETB). This suggests that non-participants may face structural constraints such as limited access to land, water, or extension services that prevent them from realizing the full benefits of participation. Therefore, addressing these barriers through targeted policy interventions could help unlock substantial welfare gains, especially for marginalized and underserved groups, and make urban agriculture more inclusive and impactful.

The mean estimation result of household welfare, using consumption expenditure (measured in Ethiopian Birr) as a proxy indicator (Appendix 2)². The average monthly consumption expenditure among sampled households is 6,733.33 ETB, with a standard error of 346.13, suggesting a moderate level of variation around the mean. This measure provides a useful benchmark for assessing overall household economic well-being in the study area. In the context of development economics and poverty analysis, consumption expenditure is considered a more reliable indicator of welfare than income, as it captures long-term living standards and consumption smoothing behaviour. Therefore, this average serves not only as a descriptive statistic but also as a critical reference point for evaluating the impact of urban agriculture (UA) participation on household welfare. By comparing this mean with the predicted consumption levels under different UA engagement scenarios using the MESR model, the study is able to draw meaningful conclusions about the extent to which UA contributes to household economic resilience and improved living conditions.

Discussions

The application of the Multinomial Endogenous Switching Regression (MESR) model was essential in addressing potential selection bias inherent in household participation in urban agriculture (UA). Participation decisions are influenced by both observable and unobservable household characteristics, such as motivation, access to land and water, and prior farming experience. Failure to control for these factors could bias welfare outcome estimates. By estimating both the Average Treatment Effect on the Treated (ATT) and on the Untreated (ATU), the MESR model offers a more credible and rigorous assessment of UA's impact on household welfare.

The results showed that households engaged in UA particularly those combining horticulture and livestock production experience significantly higher welfare, as measured by household consumption expenditure. These findings are consistent with empirical studies from urban areas in Africa and Asia, which document UA's positive role in improving food security, income diversification, and household resilience (Cochran, W. G. 1977; Mamush, M., Bojago, E., & Ngare, I. 2024). The superior outcomes for mixed UA systems support findings by (Mamush, M., Bojago, E., & Ngare, I., 2024), who emphasize the complementary benefits of integrating crop and livestock activities to enhance nutritional diversity and income stability.

A comparative analysis with other UA settings highlights common enablers and constraints. For instance, secure land tenure, larger landholdings, irrigation access, and extension services consistently emerge as critical factors enabling successful UA participation and welfare gains (Mamush, M., Bojago, E., & Ngare, I., 2024; Onyango, G., Odhiambo, N. M., & Owino, M., 2018). These institutional and infrastructural supports reduce production risks and improve productivity, thereby amplifying the benefits of UA. Mechanistically, access to reliable water and technical advice allows households to intensify production and diversify crops and livestock, which in turn stabilizes income and improves food availability throughout the year.

² Mean estimation result of households' consumption expenditure in Ethiopian Birr





Despite these positive drivers, persistent barriers limit inclusive UA participation. Gender disparities remain salient: female-headed households face systemic disadvantages in access to land, credit, labor, and market opportunities, constraining their ability to benefit from UA despite their potentially high welfare gains. This aligns with observations by (Simatele, D., & Binns, T., 2008; Belay, M., & Mengiste, M. 2021) about entrenched inequities in urban resource distribution and decision-making power. Addressing such gender-based constraints is crucial to unlocking UA's broader developmental potential.

The high ATU estimates suggest that marginalized non-participants, particularly low-income households, could realize substantial welfare improvements if structural obstacles were alleviated. This underscores that UA's contribution extends beyond individual economic gains to fostering more equitable urban food systems. Realizing this potential requires policy frameworks that go beyond simply promoting UA as an income source. Instead, urban development policies must focus on inclusive land tenure reforms, expanded access to microfinance and subsidized inputs, and targeted training programs for women and youth to build their capacities.

Furthermore, enhancing market linkages through improved infrastructure and collective action platforms can improve the profitability and sustainability of UA activities. Water infrastructure development and community-based support networks will also be vital to mitigate risks related to climate variability and resource scarcity. These policy measures collectively create an enabling environment to scale up UA's welfare benefits as a pro-poor, climate-resilient, and sustainable development strategy.

In sum, by integrating methodological rigor with comparative insights and mechanism analysis, this study advances the understanding of UA's multifaceted impacts. The findings offer actionable recommendations to policymakers aiming to leverage UA for inclusive urban livelihoods and climate resilience.

Conclusions

This study investigated the impact of urban agriculture (UA) on household welfare in North Shewa Zone, Oromia, Ethiopia. Using primary survey data and a Multinomial Endogenous Switching Regression (MESR) model, the researcher accounted for selection bias and unobserved heterogeneity. The results revealed that UA, particularly when combining horticultural crops and livestock production, significantly improves household consumption expenditure. Participation was strongly influenced by factors such as gender, land size, water access, input availability, and household size. The high welfare gains estimated for non-participants suggest substantial untapped potential, especially among low-income and female-headed households. Based on these findings, three key policy recommendations are proposed: (i) integrate urban agriculture into urban land-use planning with clear and enforceable land tenure security to encourage investment and sustained participation; (ii) promote adoption of space-efficient and sustainable practices such as vertical farming, compost reuse, and water-saving technologies to maximize productivity in limited urban spaces; and (iii) enhance access to microcredit, subsidies for inputs, and targeted training programs aimed at disadvantaged groups, including female-headed households, to reduce barriers to entry and improve livelihoods. Despite its contributions, this study has limitations. It relies on cross-sectional data and self-reported consumption figures, which may affect the accuracy and causality of the results. Furthermore, the analysis does not capture the long-term sustainability, environmental impacts, or potential for job creation associated with urban agriculture. Future research should employ panel data to better assess these dynamics and examine the role of urban agriculture in promoting not only household welfare but also broader environmental sustainability, employment generation, and climate resilience in rapidly urbanizing regions.

References

- Abate, T., & Getahun, S. (2025). Urban agriculture and household nutrition in Addis Ababa: An econometric assessment. *Urban Agriculture & Regional Food Systems*, 10(1), e30015. <https://doi.org/10.1002/uar2.30015>
- Abdulai, A., & Tesfaye, A. (2016). The impact of urban agriculture on food security: Evidence from Ethiopian cities. *Food Policy*, 65, 13–23. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2016.10.007>
- Abebaw, D., & Haile, M. (2013). The impact of land certification on investment and productivity: Evidence from Ethiopia. *Land Economics*, 89(2), 284–302. <https://doi.org/10.3368/le.89.2.284>
- Alemu, D., Abebe, G., & Tadesse, T. (2025). Urban agriculture, dietary diversity, and nutritional outcomes in Addis Ababa. *Journal of Urban Food Systems*, 12(1), 45–62.
- Appiah, N. (2016). Urban agriculture and household welfare: An analysis of Ghana's recent experience. Master's thesis, University of Ghana. Retrieved from UGSpace.
- Belay, M., & Mengiste, M. (2021). The ex-post impact of agricultural technology adoption on poverty: Evidence from North Shewa Zone of Amhara Region, Ethiopia. *International Journal of Finance & Economics*, 1–11. <https://doi.org/10.1002/ijfe.2479>
- Bourguignon, F., Fournier, M., & Gurgand, M. (2007). Selection bias corrections based on the multinomial logit model: Monte-Carlo comparisons. *Journal of Economic Surveys*, 21(1), 174–205.
- Cochran, W. G. (1977). *Sampling Techniques* (3rd ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Cofie, O. O., Drechsel, P., & Danso, G. (2006). Promoting urban agriculture as a climate change adaptation strategy: A case study of Accra, Ghana. International Development Research Centre (IDRC). RUAF/ IWMI.





- Deaton, A. (1997). *The Analysis of Household Surveys: A Microeconomic Approach to Development Policy*. Washington, DC: The World Bank.
- Di Falco, S., Veronesi, M., & Yesuf, M. (2011). Does adaptation to climate change provide food security? A micro-perspective from Ethiopia. *American Journal of Agricultural Economics*, 93(3), 829–846. <https://doi.org/10.1093/ajae/aar006>
- Drechsel, P., & Dongus, S. (2010). Dynamics and sustainability of urban agriculture: Examples from sub-Saharan Africa. *Sustainability Science*, 5(1), 69–78. <https://doi.org/10.1007/s11625-009-0097-x>
- Gebremedhin, M., & Mulat, A. (2021). Urban agriculture in Ethiopia: Prospects and challenges. *Journal of Agricultural Development*, 8(2), 45–62.
- Girma, A. (2010). The role of urban agriculture in food security in Addis Ababa. *Ethiopian Journal of Development Research*, 32(1), 45–67.
- Guta, L. J., & Irge, T. W. (2022). Determinants of urban agricultural practices and their impact on household food security: Evidence from Bako Town, Oromia Regional State, Ethiopia. *Economics*, 11(4), 167–189. <https://doi.org/10.11648/j.eco.20221104.12>
- Hagos, S., Tadesse, M., & Birkhäuser, R. (2023). Socioeconomic barriers to urban agriculture: A focus on marginalized groups in Ethiopia. *Gender and Development*, 31(4), 593–609.
- Heckman, J. J. (1979). Sample Selection Bias as a Specification Error. *Econometrica*, 47(1), 153–161. <https://doi.org/10.2307/1912352>
- Kassie, M., Teklewold, H., Jaleta, M., Marenja, P., & Erenstein, O. (2015). Understanding the adoption of a portfolio of sustainable intensification practices in eastern and southern Africa. *Land Use Policy*, 42, 400–411. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.10.001>
- Khonje, M., Manda, J., Alene, A. D., & Kassie, M. (2018). Analysis of adoption and impacts of improved maize varieties in eastern Zambia. *World Development*, 66, 695–706.
- Kiribou, T., Ayele, S., & Alemu, M. (2024). Urban agriculture and food security in Sub-Saharan Africa: A systematic review. *Urban Agriculture & Regional Food Systems*, 9(1), e20022. <https://doi.org/10.1002/uar.2.20022>
- Lokshin, M., & Sajaia, Z. (2004). Maximum likelihood estimation of endogenous switching regression models. *The Stata Journal*, 4(3), 282–289.
- Mamush, M., Bojago, E., & Ngare, I. (2024). Determinants of adoption of urban agriculture (UA) as climate-smart agriculture (CSA) and its impact on food security: Evidence from Wolaita Sodo City. *Discover Sustainability*, 5(1), 168.
- Masha, M., Bojago, E., & Ngare, I. (2024). Determinants of adoption of urban agriculture (UA) as climate-smart agriculture (CSA) practices and its impact on food security: Evidence from Wolaita Sodo city, South Ethiopia. *Discover Sustainability*, 5(1), 168. <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00365-5>
- Maxwell, D., Levin, C., & Csete, J. (1998). Does urban agriculture help prevent malnutrition? Evidence from Kampala. *Food Policy*, 23(5), 411–424. [https://doi.org/10.1016/S0306-9192\(98\)00043-3](https://doi.org/10.1016/S0306-9192(98)00043-3)
- Mburu, P., & Wanjiku, R. (2023). Urban agriculture and poverty alleviation in Kisumu: Evidence from regression discontinuity analysis. *Development Studies Quarterly*, 36(3), 211–230.
- McFadden, D. (1973). Conditional logit analysis of qualitative choice behavior. In P. Zarembka (Ed.), *Frontiers in Econometrics* (pp. 105–142). Academic Press.
- Mougeot, L. J. A. (2005). *Agropolis: The Social, Political, and Environmental Dimensions of Urban Agriculture*. Earthscan.
- Mutuku, J., & Mwangi, L. (2024). Peri-urban farming and household food security in Kenya: Benefits and risks. *Food Security*, 16(2), 343–359. <https://doi.org/10.1007/s12571-024-01475-8>
- Mwangi, W., Kariuki, S., & Njeru, M. (2021). Market access and smallholder farm profitability: Evidence from Kenya. *Journal of Development Studies*, 57(4), 645–662. <https://doi.org/10.1080/00220388.2020.1793765>
- Njiru, J., Otieno, J., & Onyango, L. (2024). Urban agriculture and public health: Risk assessment of wastewater use in peri-urban Kenya. *Environmental Health Perspectives*, 132(4), 340–352.
- Nyambane, A., Okoth, J., & Mwangi, P. (2023). Land tenure security and income dynamics of urban farmers in Nairobi: Panel data evidence. *Urban Economics Review*, 29(1), 77–94.
- Onyango, G., Odhiambo, N. M., & Owino, M. (2018). Impact of urban agriculture on household food security in Kisumu City, Kenya. *African Journal of Agricultural Research*, 13(36), 1800–1811.
- Orsini, F., Kahane, R., Nono-Womdim, R., & Gianquinto, G. (2013). Urban agriculture in the developing world: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 33(4), 695–720. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0143-z>
- Owusu Asante, F., Al-Hassan, R., & Kuwornu, J. K. M. (2024). Agricultural service delivery and household welfare in rural Ghana: Evidence from MESR modeling. *Development Studies Research*, 11(1), 77–93. <https://doi.org/10.1080/21665095.2024.2298771>
- Rahut, D. B. (2017). Urban agriculture and its effects on household welfare: Evidence from urban areas. *Journal of Urban Economics*, 23(4), 345–367. <https://doi.org/10.1016/j.jue.2017.01.004>
- Simatele, D., & Binns, T. (2008). Sustainability and development in urban agriculture: Evaluating urban livelihood strategies in Lusaka, Zambia. *Urban Forum*, 19(1), 1–21. <https://doi.org/10.1007/s12132-008-9025-8>
- Teklewold, H., Kassie, M., Shiferaw, B., & Köhlin, G. (2013). Cropping system diversification, conservation tillage and modern seed adoption in Ethiopia: Impacts on household income, agrochemical use and demand for labor. *Ecological Economics*, 93, 85–93.
- Tesfay, G. (2020). Fertilizer adoption and market participation among smallholders in Northern Ethiopia: An ESR approach. *Agriculture & Food Security*, 9(1), 56. <https://doi.org/10.1186/s40066-020-00256-y>
- Tessema, A. (2020). Urban agriculture and household welfare: Evidence from Hossana Town, Ethiopia. *Journal of Economics and Sustainable Development*, 11(5), 1–13. <https://doi.org/10.7176/JESD/11-5-06>
- Van Niekerk, J. A., Swanepoel, J. W., & Tirivangasi, H. M. (2021). Analysing the contribution of urban agriculture towards urban household food security in informal settlement areas. *Development Southern Africa*, 38(5), 785–798. <https://doi.org/10.1080/0376835X.2021.1920888>
- Wolday, A., et al. (2018). Urban agriculture and food security in Ethiopia. *Food Security Journal*, 10(2), 307–319.





World Bank. (2020). *Poverty and shared prosperity 2020: Reversals of fortune*. Washington, DC: World Bank.
Yitbarek, E., & Tesfaye, K. (2022). Climate-smart agriculture and non-farm employment: A multinomial endogenous switching regression analysis in Ethiopia. *Agriculture*, 12(2), 284. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020284>
Zezza, A., & Tasciotti, L. (2010). Urban agriculture, poverty, and food security: Empirical evidence from a sample of developing countries. *Food Policy*, 35(4), 265–273. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2010.04.007>

Appendixes

Appendix 1. Summary of studies conducted on impact of urban agriculture on households' welfare

Author & years of publication	Methodology of (models)	Determinant variables	Dependent & Outcome variables
Abraham Tessema (2020)	Binary logit model Propensity score matching	Age, sex, education level of household head, household size, land size, income from other sources, access to credit, access to water, access to extension services, access to improved inputs	Participation in Urban Agriculture, Consumption Expenditure per Adult Equivalent
Lemi Jeneral Guta, Takele Wogari Irge, 2022	Multinomial logit model Propensity score matching model	Risk preference, Households Income, Extension service , Access to credit, Access to irrigation, Age of household head, Sex of household head, Educational level of household head, Dependency ratios of household, Land size, Market distance, Family size, Membership in cooperative, Livestock , Marital status	Determinants of urban agricultural practices Household's food security
Nigus <i>et al.</i> (2024)	Multivariate (MVP) model Probit	Sex, age, education level, land size, extension contact, credit access, community group participation, training, and household nonfarm income, perception, farming experience & market distance	Determinants of adoption of urban agricultural practices
Van Niekerk <i>et al.</i> (2021)	Probit model Propensity score matching	Human resources, time, investments, access to land area (space for urban agriculture) and practical knowledge of urban agriculture, access to finance, time, access to land and farming resources, and knowledge of farming.	Decision to participate in urban agriculture Household welfare
Mamush Masha <i>et al.</i> , (2024)	Logistic regression Propensity score matching	Gender, access to credit, age, available land for farming, educational level, family size in number, job status, location of the residence, market demand, ownership of living home, perception toward urban agriculture, total monthly income, training	Determinants of adoption of urban agriculture Food security
Naomi Appiah (2016)	Logistic regression model Propensity score matching	Age, household size, education level, employment status, income, accessibility to land, marital status, household poverty status, participation in non-farm activities	Determinants of participating in urban agricultural practices Household Welfare

Appendix 2. Mean estimation result of households' consumption expenditure in Ethiopian Birr

Mean of household welfare measured by consumption expenditure	Mean	Std. Err.
	6733.333	346.1307





Transforming Brewery Waste into High-Protein, Lean Chicken Feed: BrewGrow Poultry

Nabila Berrighi^{1*}

¹Laboratory of Biotechnology Applied to Agriculture and Environmental Preservation, Higher School of Agronomy, Mostaganem, 27000, Algeria

Abstract

Brewer's spent grain, a major by-product of the brewing industry, is a valuable feed source because of its high protein, fibre, and essential nutrient content. Adding BSG to poultry diets is a sustainable way to cut feed costs, minimise environmental waste, and promote circular agriculture. It can help create more environmentally friendly livestock farming systems, increase chicken production, and improve resource efficiency by being used as a substitute feed component. This research assesses the effects of replacing standard feed with brewers spent grain on the poultry meat texture, sensory attributes and lipid oxidation value. The research involved two groups of broiler breeds raised at the same farm in Mostaganem area. The results showed significantly higher animals in the experimental group exhibited a reduced total fat level in their meat. However, the concentration of Vitamin C was significantly higher ($p<0.05$) and more prevalent in meat from animals raised DBSG. A significant difference ($p<0.001$) was noted in MDA amounts between meats from both groups. The highest rate of meat acceptance by tasters was observed in the group of animals that included DBSG in their diet compared with the control group. This group also exhibited more tender meat coloration and lower lipid oxidation rates. ($p<0.001$). Brewer's spent grain enhanced the quality of meat by producing leaner, lower-fat meat with appealing sensory attributes. As a result, consumers indicated that they preferred meat from animals fed spent grain from breweries. These findings suggest that brewer's spent grain is a sustainable feed ingredient that enhances meat quality and consumer acceptability.

Keywords: Brewery byproducts, consumer, feeding diet, oxidation, texture





Premium Lean Turkey Meat through Hydroponic Barley and Aromatic Herb Formulations GreenBarley Turkey Labs

Nabila Berrighi^{1*}

¹Laboratory of Biotechnology Applied to Agriculture and Environmental Preservation, Higher School of Agronomy, Mostaganem, 27000, Algeria

Abstract

Turkey breeding greatly benefits from hydroponic barley (also known as hydroponic sprouting fodder) and medicinal herbs, which provide notable enhancements in dietary intake, gut health, and cost effectiveness. This study evaluates the impact on the textural profile and amino acid content of turkey meat when regular feed is combined with hydroponic barley and *Alpinia galanga*, aromatic medicinal plants. Two groups of Turkey breeds grown on the same farm in the Mostaganem area participated in the study; the groups were created based on the percentage of HB rate integration and *Alpinia galanga* medicinal plants. The experimental groups animals had lower levels of total fat in their meat compared to the control group. However, the meat of Turkey fed hydroponically grown barley (HB) and aromatic medicinal plants had a much greater ($p<0.05$) and more abundant concentration of crude protein and ash contents. The amount of antioxidant activity in meats from each group varied significantly with predominance in the turkey meat fed a mixture of hydroponic barley and aromatic plants. The treated meat also received higher sensory scores by tasters according to its flavor, juiciness and taste than the meat from the control group ($p<0.001$). The combination of hydroponically grown barley and aromatic plants is essential for improving meat quality by enhancing antioxidant qualities and sensory aspects. Additionally, it increases the efficiency and sustainability of meat production by reducing production costs by replacing expensive conventional feed ingredients.

Keywords: Antioxidant activity, breeding system, hydroponic Barley, sensory quality, Turkey meat





Effect of Marination Technique and Marinade Type on the Physicochemical and Sensory Properties of Broiler Thigh Meat

Malithi Binaragama¹, Ruvini Mutucumarana^{1*}, Sameera Thisera²

¹Sabaragamuwa University of Sri Lanka, Faculty of Agricultural Sciences, Department of Livestock Production, 70140, Belihuloya, Sri Lanka.

²Nelna Farm (Pvt) Ltd., 11742, Ranwala, Meethirigala Sri Lanka.

Abstract

Marination is a process used to improve both the physicochemical properties and sensory attributes of meat. The present study investigated (i) the effect of marination and (ii) the interactive effects of three marination techniques (immersion, injection, and tumbling) and two marinade types (acidic vs. basic) on the physicochemical and sensory attributes of broiler thigh meat. The experiment was conducted using a 3×2 factorial arrangement in a Completely Randomized Design (CRD), with an additional unmarinated control treatment. A total of 56 deboned chicken (35-d-old, Cobb 500, unsexed) thigh samples (Mean $\pm$ SD, 60 ± 5 g) were treated with either acidic (pH: 4.5) or basic (pH 8.5) marinade and were assigned to one of the six treatment groups. The samples were held at 4 °C for 8 hours. The one-way ANOVA revealed that the control and marinated treatments were differed ($p < 0.05$) for marinade uptake, meat pH and cohesiveness. The two-way ANOVA results revealed a significant method $\times$ marinade type interaction ($p < 0.05$) for the marinade uptake, pH, cooking loss, cooking yield, drip loss, and TP. All the colorimetric parameters except the internal b^* resulted a significant method $\times$ marinade type interaction ($p < 0.05$). At basic pH, tumbling resulted the highest marinade uptake than its acidic counterpart ($p < 0.05$). Both immersion, INA, and TB marinade types resulted the highest cooking yield ($p < 0.05$) and the minimum cooking loss ($p < 0.05$). IMA and the INA resulted in the lowest hardness ($p < 0.05$). INA exhibited the optimal values across all tested colorimetric parameters. Sensory results revealed that the overall acceptability was similar across all treatments. The study concludes that injection marination in an acidic medium enhances the physicochemical properties of broiler meat without affecting its sensory characteristics.

Keywords: Chicken, Immersion, Injection, Marination, Tumbling, Sensory





Development of Value-Added Chicken Sausages using Optimized Combinations of Edible Offal and Non-Meat Ingredients

Dilhara Hasminadi¹, Ruvini Mutucumarana^{1*}, Sameera Thisera²

¹Sabaragamuwa University of Sri Lanka, Faculty of Agricultural Sciences, Department of Livestock Production, 70140, Belihuloya, Sri Lanka.

²Nelna Farm (Pvt) Ltd., 11742, Ranwala, Meethirigala, Sri Lanka.

Abstract

Incorporation of poultry by-products into processed meat products has gained a wider attention due to their high nutritional value and their potential to reduce waste generation. This study evaluated the effect of different inclusion levels of chicken offal (liver + heart) on the nutritional composition, physicochemical and sensory attributes, and the production cost of chicken sausages. Five treatments: Control (100% meat +0% offal), T1 (90% meat +10% offal), T2 (80% meat + 20% offal), T3 (70% meat + 30% offal), and T4 (60% meat + 40% offal) were used. Treatments were evaluated for their proximate composition, physicochemical and sensory attributes. Raw material costs per 100 g of sausages were calculated. The highest protein content (57.0%), cooking yield (64.4%), and the minimum cooking loss (35.6%) were observed from the treatment T2. The control reported the minimum shrinkage percentage ($P<0.05$). Water holding capacity was the highest in T2, T3, and T4. Frying loss was not affected by the treatments ($P>0.05$). Control, T1 and T2 resulted in the highest folding test values ($P<0.05$). The T4 reported the optimal pH and the highest extract release volume (ERV) ($P<0.05$). Juiciness was the highest in T1 ($P<0.05$). Increasing the offal inclusion by 20% or above resulted in the highest springiness ($P<0.05$). External redness (a^*), external yellowness (b^*) and all the internal L^* , a^* and b^* parameters were significantly influenced ($P<0.05$) by the treatments. T4 reported the most favorable color attributes. Sensory results revealed that the treatments were acceptable and comparable to the control sample. Cost analysis indicated reduced production cost with increasing offal levels. The present study concluded that all organ offal mixed combinations are equal or superior to the control. Inclusion of chicken offal at 40% in chicken sausages is cost effective and enhances most of the physicochemical properties and sensory attributes tested.

Keywords: Chicken, Edible offal, Heart, Liver, Physicochemical, Sausages





Physicochemical and Nutritional Characterization of *Polyalthia longifolia* Seed Flour and Oil

*¹Ifedi, Emmanuel. N., ²Ajayi, Ibironke. A. and ³Kaki, Shiva. S.

^{1,2}Industrial Unit, Chemistry Department, Faculty of Science, University of Ibadan, Ibadan, Nigeria

³Centre for Lipid Science and Technology, ICT, Hyderabad 500 007, India

Abstract

Seeds of *Polyalthia longifolia* were subjected to extraction with *n*-hexane using a Soxhlet apparatus to obtain the seed oil (PLSO) and residual cake (PLSC). The residual cake was evaluated for its mineral and amino acid compositions, while the oil was analyzed for mineral content, fatty acid profile, unsaponifiable components, and lipid classes using standard analytical procedures. The amino acid analysis of PLSC revealed that glutamic acid (8.25 g/100 g), aspartic acid (6.20 g/100 g), leucine (5.17 g/100 g), glycine (4.23 g/100 g), along with lysine, phenylalanine, arginine and alanine were the most abundant amino acids, whereas tryptophan (0.50 g/100 g) was present in the lowest amount. The ratio of essential to non-essential amino acids (0.79) suggests a well-balanced protein composition. Mineral analysis of PLSO showed relatively high levels of potassium (756.04 ppm), calcium (692.86 ppm) and magnesium (160.03 ppm), with a similar trend observed in PLSC. The oil exhibited notable physicochemical properties, including an unsaponifiable matter content of 23.02%, a saponification value of 197.25 mg KOH/g, and an iodine value of 64.04 mg I₂/g, indicating a high degree of unsaturation and potential industrial applications. The predominant fatty acids identified were oleic acid (44.20%), palmitic acid (36.62%), linoleic acid (11.52%), and stearic acid (4.13%), resulting in a composition of 57.70% unsaturated and 42.22% saturated fatty acids, which highlights its nutritional and cosmetic relevance. Neutral lipids constituted the major fraction (93.52%) of PLSO, while the unsaponifiable fraction contained bioactive compounds such as α -ergosterol, stigmasta-7,25-dien-3-ol, phytol, and beta- tocopherol. Overall, the seed flour and oil of *P. longifolia* demonstrate considerable potential for nutritional, functional, and industrial applications.

Keywords: *Polyalthia longifolia*, Amino acid profile, Fatty acid analysis, Physicochemical properties, unsaponifiable fraction





Utilizing Plant-Based Protein Sources from Agricultural By-Products: Addressing Challenges for Aquaculture Sustainability

Syed Makhdoom Hussain

Fish Nutrition Lab, Department of Zoology, Government College University Faisalabad, Faisalabad 38000, Pakistan

Abstract

Aquaculture is the fastest-growing global food production sector and is vital for food and nutritional security. With output reaching approximately 87.5 million tonnes, over 70% of production relies on formulated feeds. Fish meal (FM) has traditionally been the primary protein source due to its amino acid profile, digestibility, and palatability. However, its limited supply from capture fisheries and rising demand have caused price volatility and supply concerns, making sustainable FM alternatives an urgent priority. Plant-based proteins are promising substitutes due to their abundance, lower cost, renewability, and reduced environmental impact. Ingredients such as soybean meal, *Moringa oleifera* leaf and seed meal, canola meal, sunflower meal, and cottonseed meal are already used in commercial aquafeeds. Yet, antinutritional factors (ANFs) including phytate, tannins, saponins, protease inhibitors, and non-starch polysaccharides limit their inclusion by reducing nutrient bioavailability and impairing fish growth and health. Feed additives such as exogenous enzymes, probiotics, prebiotics, antioxidants, organic acids, and functional nanoparticles can mitigate ANF effects, improve digestibility, and enhance fish health, allowing higher plant protein incorporation. Nevertheless, further research is needed on the long-term physiological, economic, and environmental impacts of large-scale FM substitution. Species-specific formulations, life-cycle assessments, and cost-benefit analyses remain critical. Developing eco-efficient, nutritionally complete, and cost-effective aquafeeds is essential for sustainable aquaculture growth and global food security.

Keywords: Aquaculture, plant by-products, replacement, feed formulation, cost effective, environment friendly





Microplastics in the Human Body: Environmental Exposure and Potential Health Effects

Sunakbaeva Dilara

Candidate of Technical Sciences, Faculty of Natural Sciences, Department of Ecology and Chemistry, Khoja Akhmet Yassawi International
Kazakh-Turkish University, 161200 Turkestan, Kazakhstan,

Abstract

Microplastics in the human body are increasingly recognized as an emerging and rapidly developing issue at the intersection of environmental science, medicine, and public health. In recent years, growing concerns have been raised regarding the widespread occurrence of microplastics in the environment and their potential effects on human health. The extensive use of plastic materials in industry, agriculture, medicine, and daily life has contributed to the accumulation of microplastic particles in water, soil, and air. Consequently, humans are continuously exposed to microplastics, highlighting the need for a comprehensive assessment of this emerging concern. This study aims to analyze the pathways through which microplastics enter the human body and to evaluate their potential health effects based on current scientific evidence. The study is based on an analytical review of recent experimental and observational research investigating the detection of microplastics in human biological samples and environmental compartments. Major sources of human exposure include atmospheric air, drinking water, seafood, agricultural products, and commonly used plastic materials. The mechanisms through which microplastics enter the human body via the respiratory and gastrointestinal systems and through dermal exposure are examined. In addition, particle size, shape, chemical composition, surface characteristics, and concentrations are comparatively evaluated, with particular emphasis on their potential influence on biological activity and bioavailability. The reviewed evidence indicates that microplastics have been detected in human blood, lung tissue, the gastrointestinal tract, liver tissue, and placental samples, suggesting their potential for systemic distribution within the human body. Some studies have also reported the presence of microplastics in breast milk and other biological fluids, raising concerns about the possibility of exposure across generations. Current evidence suggests that microplastics may interact with cellular structures, induce inflammatory responses, increase oxidative stress, disrupt cellular metabolism, and alter immune system functions. Potential risks to the endocrine and reproductive systems, as well as the possibility of tissue accumulation following long-term exposure, have also been reported. The level of microplastic exposure may vary according to geographical location, lifestyle, occupational activities, and environmental conditions. Overall, further interdisciplinary research is required to better understand the potential effects of microplastics on human health. Such research may contribute to establishing cause-effect relationships, improving risk assessments, and developing strategies to reduce microplastic exposure. Furthermore, the findings may support the development of environmental safety policies and preventive measures aimed at protecting public health.

Keywords: microplastics, human exposure, environmental pollution, health effects, toxicology, sustainability

İnsan Vücudunda Mikroplastikler: Çevresel Maruziyet ve Olası Sağlık Etkileri

Özet

İnsan vücudundaki mikroplastikler, çevre bilimleri, tıp ve halk sağlığının kesişiminde yer alan yeni ve hızla gelişen bir sorun olarak değerlendirilmektedir. Son yıllarda mikroplastiklerin çevrede yaygınlaşması ve insan sağlığı üzerindeki olası etkileri konusunda endişeler artmaktadır. Plastik materyallerin sanayi, tarım, tıp ve günlük yaşamda yaygın kullanımı; su, toprak ve havada mikroplastik parçacıklarının birikmesine yol açmaktadır. Bunun sonucunda insanlar sürekli olarak mikroplastiklere maruz kalmakta ve bu durum söz konusu sorunun kapsamlı biçimde incelenmesini gerekli kılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, mikroplastiklerin çevreden insan vücuduna giriş yollarını analiz etmek ve güncel bilimsel veriler doğrultusunda sağlık üzerindeki olası etkilerini değerlendirmektir. Çalışma, insan biyolojik örneklerinde ve çevresel ortamlarda mikroplastiklerin tespitine yönelik güncel deneysel ve gözlemsel araştırmaların analitik incelemesine dayanmaktadır. Mikroplastiklerin başlıca kaynakları arasında atmosferik hava, içme suyu, deniz ürünleri, tarımsal ürünler ve günlük kullanılan plastik materyaller yer almaktadır. Mikroplastiklerin insan vücuduna solunum yolu, sindirim sistemi ve deri yoluyla giriş mekanizmaları ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Ayrıca parçacıkların boyut, şekil, kimyasal bileşim, yüzey özellikleri ve konsantrasyonlarının karşılaştırmalı analizi yapılmış ve bu özelliklerin biyolojik aktivite ve biyoyararlanım üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.





Analiz sonuçları, mikroplastiklerin insan kanında, akciğer dokusunda, sindirim sisteminde, karaciğerde ve plasenta örneklerinde tespit edildiğini göstermektedir. Bu durum mikroplastiklerin insan vücudunda sistemik olarak dağıldığını ortaya koymaktadır. Bazı çalışmalar, mikroplastiklerin anne sütünde ve diğer biyolojik sıvılarda da bulunduğunu ortaya koyarak parçacıkların nesiller arası aktarım olasılığına işaret etmektedir. Elde edilen veriler, mikroplastiklerin hücrel yapılar üzerinde etkili olabileceğini, inflamatuvar yanıtları tetikleyebileceğini, oksidatif stresi artırabileceğini, hücrel metabolizmayı bozabileceğini ve bağışıklık sistemi fonksiyonlarını değiştirebileceğini göstermektedir. Ayrıca endokrin ve üreme sistemleri üzerindeki potansiyel riskler ile uzun süreli maruziyet sonucunda dokularda birikim olasılığı da değerlendirilmektedir.

Mikroplastiklere maruz kalma düzeyinin coğrafi konum, yaşam tarzı, mesleki faaliyetler ve çevresel koşullara bağlı olarak değişebileceği belirlenmiştir. Sonuç olarak, mikroplastiklerin insan sağlığı üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılması için disiplinler arası araştırmaların artırılması gerekmektedir. Bu tür çalışmalar, neden-sonuç ilişkilerinin belirlenmesine, risk değerlendirmelerinin yapılmasına ve mikroplastik maruziyetini azaltmaya yönelik stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır. Ayrıca elde edilen sonuçların çevresel güvenlik politikalarının oluşturulmasına ve toplum sağlığının korunmasına yönelik önleyici tedbirlerin geliştirilmesine katkı sunması beklenmektedir.

Keywords: mikroplastikler, insan maruziyeti, çevre kirliliği, sağlık etkileri, toksikoloji, sürdürülebilirlik





Gestational surrogacy: clinical outcomes and maternal fetal risks

Sunakbaeva Latofat

South Kazakhstan Medical Academy, Faculty of Medicine, 160019, Shymkent, Kazakhstan

Abstract

Gestational surrogacy represents a significant development in contemporary reproductive medicine, expanding the possibilities of parenthood for individuals with medical or physiological barriers to pregnancy. Nevertheless, its increasing application necessitates a critical evaluation of associated maternal and fetal risks. The present study aims to assess clinical outcomes in gestational surrogacy by analyzing available clinical data and comparative observations with conventional pregnancies. The focus is placed on maternal complications, including hypertensive disorders, endocrine alterations, and the physiological demands imposed by assisted reproductive procedures, as well as on neonatal indicators such as gestational age, birth weight, and early adaptation. The findings suggest that gestational surrogacy is generally associated with favorable clinical outcomes under conditions of appropriate medical supervision. However, a moderately increased incidence of specific complications, particularly those related to multiple gestations and assisted reproduction, has been identified. In addition, the presence of a genetically non-related embryo introduces distinct immunological and physiological dynamics, which may influence maternal adaptation throughout pregnancy. Neonatal outcomes are largely comparable to those observed in non-surrogacy pregnancies, although they remain dependent on procedural and clinical variables. In conclusion, gestational surrogacy can be regarded as an effective and relatively safe reproductive strategy, provided that comprehensive clinical monitoring is ensured. Further investigation is required to elucidate long-term maternal and offspring health outcomes and to optimize clinical protocols.

Keywords: *Gestational surrogacy, maternal-fetal interaction, pregnancy complications, assisted reproduction, neonatal outcomes, reproductive medicine*





Occurrence of microplastics in marine environments and their potential toxicological impacts

Antoni Sureda*, Maria Magdalena Quetglas-Llabrés, Amanda Cohen-Sánchez, Montserrat Compa

Research Group on Community Nutrition & Oxidative Stress and Interdisciplinary Ecology group, University of Balearic Islands-IUNICS,
07122 Palma de Mallorca, Spain.

Abstract

Microplastics (MPs) are now recognized as ubiquitous contaminants in marine environments, from coastal areas to the open ocean, water column, and deep-sea sediments. Their persistence, small size, and wide distribution raise increasing concern about their interactions with marine organisms and the potential for long-term ecosystem-level consequences. MPs can be readily ingested by a broad range of taxa, including invertebrates, fish, and higher trophic level species, leading to physical effects such as gut obstruction, reduced feeding efficiency, false satiation, and impaired energy allocation, which may ultimately affect growth, reproduction, and survival. Beyond these direct physical impacts, MPs may also exert toxicological effects, either due to their intrinsic chemical composition (e.g., additives and monomers) or their ability to adsorb and transport environmental contaminants such as persistent organic pollutants and metals. At the sub-organismal level, these effects can be assessed through a suite of biomarkers, including detoxification enzymes (e.g., phase I and II biotransformation systems), antioxidant defenses and oxidative stress markers, as well as inflammatory and immune response parameters. Integrating biomarker responses with exposure data provides valuable insight into early warning signals of MP-induced stress and helps to elucidate mechanistic pathways underlying toxicity. Overall, understanding both the occurrence and biological effects of MPs is essential to better evaluate their ecological risk and to inform future monitoring, regulatory frameworks, and mitigation strategies.

Keywords: Microplastics; Marine pollution; Oxidative stress biomarkers; detoxification; Ecotoxicology





Clinical Effects of a Polyphenol-Enriched Chewing Gum Containing *Scutellaria lateriflora* L. and *Cistus × incanus* L. Extracts in Subjects with Gingivitis: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Trial

Lorenza Francesca De Lellis¹, Maria Vittoria Morone¹, Hammad Ullah², Daniele Giuseppe Buccato¹, Angela Cerqua¹, Alessandra Baldi¹, Alessandro Di Minno^{1,3}, Maria Daglia^{1,4}

¹Dipartimento di Farmacia, Università di Napoli Federico II, Via Domenico Montesano 49 80131 Napoli

²School of Pharmacy, University of Management and Technology, Lahore, Pakistan

³CEINGE-Biotecnologie Avanzate, Via Gaetano Salvatore 486, 80145 Naples, Italy

⁴International Research Center for Food Nutrition and Safety, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China

Objectives. Gingivitis is one of the most common inflammatory diseases affecting the oral cavity and remains an important target for preventive interventions based on nutraceutical approaches. Botanical extracts rich in polyphenols are known for their antioxidant, anti-inflammatory, and antimicrobial properties, which may be beneficial for oral health. *Scutellaria lateriflora* L. and *Cistus × incanus* L. are particularly rich in flavonoids and phenolic compounds and have previously shown activity against oral microorganisms. The aim of this study was to investigate the efficacy and tolerability of a chewing gum formulated with these polyphenol-rich extracts in individuals with gingivitis.

Methods. A total of 60 adults aged 18 to 70 years with gingivitis, but without diagnosed periodontitis, were randomly assigned to receive either two chewing gums per day containing standardized extracts of *S. lateriflora* and *C. × incanus* or a placebo for a period of 3 months. Clinical evaluations were carried out at baseline and at monthly follow-up visits. Gingival bleeding and inflammation were assessed using the Quantitative Gingival Bleeding Index (QGBI) and the Modified Gingival Index (MGI), respectively. Oral health-related quality of life was measured with the OH-15 questionnaire, while pain intensity was recorded using a Visual Analogue Scale (VAS). Overall oral status was also evaluated through the Clinical Global Impression–Severity (CGI-S) scale.

Results. After 3 months of treatment, participants receiving the chewing gum enriched with polyphenol extracts experienced significantly greater improvements than those in the placebo group. Marked reductions in gingival bleeding and inflammation were observed, as reflected by improvements in QGBI and MGI scores. In addition, subjects in the active treatment group reported better oral health-related quality of life, lower pain perception, and an overall improvement in oral condition according to CGI-S scores. The product was well tolerated, and no clinically meaningful adverse effects were reported during the study.

Conclusions. Administration of *S. lateriflora* and *C. × incanus* polyphenol-rich extracts through a chewing gum formulation significantly improved both clinical indicators and patient-reported outcomes in individuals with gingivitis. These results suggest that this food-based, bioactive formulation may represent a safe, practical, and effective nutraceutical strategy to support gingival health and help prevent progression of oral disease.

Keywords: Gingivitis; *Scutellaria lateriflora*; *Cistus × incanus*; Polyphenols; Nutraceuticals





Adoption of Climate-Smart Agriculture Among Rice Farmers in Bangladesh

Ehsanur Rauf Prince^{1*}

¹Department of Economics, East West University, Dhaka 1212, Bangladesh.

Abstract

Rice-based smallholder systems in southern Bangladesh face reinforcing pressures from climate variability and soil degradation driven by decades of input-intensive cultivation. This study examines Climate-Smart Agriculture (CSA) adoption among modern rice farmers in this region, with particular attention to joint adoption behavior and variation in adoption intensity. Rather than treating CSA as a discrete technological choice, this study conceptualizes it as a portfolio of interrelated practices such as crop diversification, agroforestry, integrated soil fertility management, small-scale irrigation, and integrated pest management, and estimates adoption decisions jointly using a multivariate probit (MVP) model. An adoption index complements the MVP estimates by capturing depth of engagement beyond binary indicators. The study found that CSA adoption is widespread but uneven. Most households adopt multiple practices. However, full portfolio adoption is rare. This is consistent with a gradual and selective adjustment process rather than systemic transition. MVP estimates confirm that decisions across practices are interdependent but not perfectly correlated. Determinants of CSA adoption differ significantly across practices. Human capital, farm size, access to credit and extension services, and market information impact adoption. But their effects are not uniform. Exposure to soil salinity and drought increases adoption of specific practices while leaving others largely unaffected. This indicates that agroecological context mediates the incentive structure rather than operating merely as background condition. Climate awareness alone does not sustain adaptation. Institutional support determines whether awareness translates into behavior change. These findings suggest that policy frameworks predicated on technology dissemination alone are unlikely to expand the adoption frontier. Effective intervention requires explicit attention to institutional capacity, localized environmental constraints, and heterogeneity in adoption intensity across households.

Keywords: *Adoption Intensity, Bangladesh, Climate-Smart Agriculture (CSA), Drivers of Climate Adaptation, Multivariate Probit Model, Portfolio-Based Technology Adoption*

Introduction

Agriculture remains a primary source of livelihood, food security, and rural employment across developing economies. In these economies production is typically organized around small-holder systems. Bangladesh exemplifies this structure. More than 80 percent of farmers operate on less than one hectare, yet the sector continues to contribute substantially to employment and national income (Tajuddin et al., 2017). Comparable patterns are observed across much of the Global South, where agriculture absorbs a large share of the labor force and plays a stabilizing role in poverty reduction and economic performance (ADB, 2000; ILO, 2024). This structural dependence heightens exposure to environmental stress. Smallholders must sustain productivity under conditions of land fragmentation, resource degradation, and increasing climatic variability. Climate smart agriculture (CSA) has therefore gained policy and analytical relevance as an approach that seeks to raise productivity while strengthening resilience and limiting environmental damage (Campbell et al., 2014; Lipper et al., 2014).

Rice based production systems lie at the center of this problem in Bangladesh. Rice dominates both cropping patterns and food consumption. The diffusion of high yielding varieties since the Green Revolution expanded output considerably. But these gains have relied on input intensive cultivation. Fertilizer use, pesticide application, mechanization, and groundwater extraction have increased yields while altering the ecological balance of production systems. Over time, these practices have contributed to declining soil quality, reduced fertility, depletion of groundwater resources, and increased environmental vulnerability (Kafiluddin and Islam, 2008). Similar tradeoffs between productivity and sustainability are documented in other developing regions characterized by intensive cereal cultivation (Arslan et al., 2015; Tsige et al., 2024). Conservation oriented approaches such as reduced tillage and integrated farming systems offer viable alternatives. However, their uptake remains constrained by production risk, uncertainty, and adjustment costs faced by farmers (Rahman et al., 2021).

Climatic stress further increase these structural pressures. Variability in temperature and rainfall, alongside recurrent floods, droughts, cyclones, salinity intrusion, and pest dynamics has increased the volatility of agricultural production and rural incomes (Islam et al., 2022; World Bank Group, 2021). Bangladesh is consistently identified among the most climate exposed countries in South Asia, with repeated shocks reinforcing production risk for smallholders (Kreft et al., 2017). Within this setting, CSA is better understood as a portfolio of interrelated practices rather than a discrete technological intervention. It considers strategies such as crop





diversification, agroforestry, soil fertility management, water management, conservation agriculture, and the use of climate information services (Belay et al., 2017; Partey et al., 2018). The underlying rationale is that combinations of practices can jointly influence productivity, adaptive capacity, and environmental outcomes (De Pinto et al., 2017; FAO, 2022). Empirical evidence indicates that adoption decisions are shaped by education, farm size, asset endowments, access to credit, extension support, training, and market integration (Kassie et al., 2013; Khatri-Chhetri et al., 2017). Adoption is rarely isolated. Farmers tend to combine practices that suggest the presence of complementarities and joint decision-making processes (Kangogo et al., 2021).

Findings from Bangladesh are consistent with this evidence. Studies found positive associations between the uptake of climate smart practices and improvements in food security and livelihood resilience. At the same time, adoption remains conditioned by household and institutional characteristics such as education, landholding size, livestock ownership, access to finance, and extension services (Abid et al., 2015; Saha et al., 2019). Context specific practices including agroforestry, floating agriculture, and sorjan farming further illustrate how local adaptation can enhance resilience in ecologically vulnerable settings (Kabir et al., 2022). Despite the expansion of this literature, several limitations persist. A large share of existing work isolates individual practices and models adoption as a binary outcome. This approach ignores interactions across practices and fails to capture variation in the adoption intensity. It also limits the analysis of complementarities that may be central to farmer decision making under risk. The present study addresses these gaps by examining the joint adoption of multiple climate smart practices among modern rice growing households in southern Bangladesh. A multivariate probit framework is employed to account for interdependent adoption decisions, alongside a CSA adoption index that captures adoption intensity. The empirical strategy integrates climate exposure and institutional conditions to identify the mechanisms shaping both the likelihood and extent of adoption.

Materials and Methods

Study Area

The empirical setting is the southern coastal belt of Bangladesh. In this region agricultural production operates under persistent exposure to climatic stressors. Salinity intrusion alters soil chemistry and constrains crop choice, cyclonic events damage standing crops and infrastructure, and tidal surges and irregular rainfall disrupt planting and harvesting cycles. These processes interact in ways that elevate production risk in rice-based systems, making the region a suitable context for examining the uptake of climate smart agriculture practices. Three southern districts were selected with the intention of capturing heterogeneity in both agroecological conditions and exposure intensity. The samples were collected Bagerhat, Pirojpur, and Barguna districts. Within these three districts, ten upazilas were included to ensure variation in local production environments. The selected upazilas (sub districts) are Bagerhat Sadar, Fakirhat, Mollahat, and Chitalmari in Bagerhat, Nazirpur, Nesarabad, and Pirojpur Sadar in Pirojpur, and Amtali, Barguna Sadar, and Bamna in Barguna. These upazilas share a strong dependence on agriculture as a primary livelihood source. However, they differ in their degree of climatic vulnerability and resource endowments. Such variation is necessary for identifying differential adoption behavior under changing environmental conditions. Primary data were obtained through a structured household survey that was designed to capture both production decisions and institutional access. A multistage sampling strategy was employed. Villages were first selected within each upazila, after which farm households were randomly drawn from village lists. The final sample consists of 497 households, distributed across Bagerhat with 171 observations, Pirojpur with 162 observations, and Barguna with 164 observations. The survey instrument collected detailed information on household demographics, farm characteristics, production practices, perceptions of climate variability, adoption of climate smart agriculture measures, and access to extension and financial services. Data collection was carried out between January and July 2025. Data collection spans both dry and early monsoon conditions which allows responses to reflect seasonal variation in farming decisions.

Analytical Techniques

The analysis quantifies the extent of climate smart agriculture adoption through an index that reflects engagement across multiple practices. This construction follows a portfolio perspective in which farmers combine different CSA practices to manage risk, rather than adopting a single technology in isolation. The index is therefore intended to capture the breadth of adoption rather than the intensity of any individual practice. Five practices that are prevalent in rice-based systems in southern Bangladesh are considered. These include crop diversification, agroforestry, integrated soil fertility management, small scale irrigation, and integrated pest management. Each practice is coded as a binary indicator that takes the value one when the household reports adoption and zero otherwise. This coding assumes that the primary distinction of interest lies in whether a practice is used, given that the survey design does not support consistent measurement of intensity across all practices. For each household, the index is calculated as the average of these binary indicators. The CSA adoption index for household i is defined as:

$$CSA_Index_i = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K CSA_{ik} \quad (1)$$





where CSA_{ik} denotes the adoption status of CSA practice k by household i , and K represents the total number of CSA practices considered in the analysis ($K = 5$). This normalization facilitates comparison across households by placing all observations on a common scale. It also preserves the additive structure implied by the portfolio approach where each additional practice contributes incrementally to the index. The method is consistent with empirical strategies used in prior studies of multi practice agricultural technology adoption (Kassie et al. 2015 and Teklewold et al. 2013), and provides a efficient representation of overall engagement with CSA in the study area.

Multivariate Probit (MVP) Model

Decisions of the farmers to adopt CSA practices are discrete and often interdependent. While probit models are commonly used to analyze binary technology adoption decisions in agriculture (Ma and Rahut, 2024; Musafiri et al., 2022), CSA adoption typically involves multiple practices that are adopted jointly rather than independently. These practices are sometimes complementary, and sometimes they are substitutes. These practices are influenced by common socioeconomic, institutional, and climatic factors. Estimating separate probit models would ignore potential correlations across adoption decisions. Thus, this study employs a Multivariate Probit (MVP) model, which allows the joint estimation of multiple correlated adoption equations and accounts for interdependence among CSA practices (Moshi et al., 2016; Teklewold et al., 2013).

Suppose that farmer i faces j binary adoption decisions corresponding to different CSA practices. For each practice j ($j = 1, 2, \dots, J$), there exists an unobserved latent variable Y_{ij}^* that reflects the net benefit associated with adoption:

$$Y_{ij}^* = X_i \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad (2)$$

where X_i is a vector of explanatory variables capturing household demographic characteristics, farm and resource endowments, institutional access, and climate-related factors; β_j is a vector of parameters to be estimated for CSA practice j ; and ε_{ij} is a stochastic error term. The observed adoption outcome is defined as:

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if } Y_{ij}^* > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

The error terms $(\varepsilon_{i1}, \varepsilon_{i2}, \dots, \varepsilon_{ij})$ are assumed to follow a multivariate normal distribution with zero mean and variance-covariance matrix Σ , where the off-diagonal elements capture correlations across adoption equations. Statistically significant correlations provide evidence of complementarities or trade-offs among CSA practices. This justifies the use of the MVP framework. In this study, five CSA practices such as crop diversification, agroforestry, integrated soil fertility management, small-scale irrigation, and integrated pest management are considered. Thus, the MVP system is specified as:

- $Y_{i1} = 1$ if farmer i adopts crop diversification, 0 otherwise
- $Y_{i2} = 1$ if farmer i adopts agroforestry, 0 otherwise
- $Y_{i3} = 1$ if farmer i adopts soil fertility management, 0 otherwise
- $Y_{i4} = 1$ if farmer i adopts small-scale irrigation, 0 otherwise
- $Y_{i5} = 1$ if farmer i adopts integrated pest management, 0 otherwise

Each adoption decision is regressed on the same set of independent variables that allow consistent comparison of determinants across practices while capturing interdependence through the estimated error correlations. Estimation is carried out using simulated maximum likelihood techniques that are standard in multivariate discrete choice models. Location-specific heterogeneity is addressed through the inclusion of detailed agroecological, climatic, and institutional variables such as soil salinity exposure, irrigation conditions, drought experience, and access to extension and markets. These variables vary significantly across districts and capture much of the spatial variation affecting adoption decisions of the farmers. Given this rich set of controls and the study's primary focus on household-level behavioral and institutional determinants rather than district-level comparisons, explicit district fixed effects are not included in the baseline specification.

Description and Measurement of the Variables

The empirical specification distinguishes between adoption outcomes and a set of covariates that represent household characteristics, resource constraints, institutional linkages, and exposure to climatic conditions. Adoption is treated as a set of discrete choices rather than a single aggregated decision. Each outcome variable corresponds to the use of a specific climate smart agriculture practice and is coded as a binary indicator. A value of one denotes that the household reports using the practice during the reference period, while zero indicates non adoption. The practices considered include crop diversification, agroforestry, integrated soil fertility management, small scale irrigation, and integrated pest management. This formulation allows the analysis to capture joint decision making across practices while preserving variation at the level of individual technologies.

The explanatory variables are organized to reflect distinct but interrelated channels through which adoption decisions are formed. Household demographic characteristics enter the model to account for differences in human





capital and decision-making capacity. Age of the household head is measured in completed years and proxies farming experience as well as exposure to past climatic events. Gender is introduced as a binary indicator to capture potential differences in access to resources and information. Education is measured in years of formal schooling and reflects the ability to process technical information and respond to extension advice. Farm and resource endowments represent the material constraints under which production decisions are made. Farm size is measured in cultivated land area and captures scale effects in technology adoption. Land tenure is included as a categorical variable distinguishing owned and non-owned plots. Livestock ownership is measured in number of animals and serves as an indicator of asset diversification and liquidity. Asset holdings are proxied through an index constructed from durable goods owned by the household, reflecting overall economic capacity. Institutional access variables are intended to capture the role of information flows and financial support. Access to extension services is recorded as a binary indicator based on whether the household had contact with extension agents during the reference period. Participation in training programs is similarly coded and reflects exposure to formal knowledge dissemination. Credit access is measured as a binary variable indicating whether the household obtained agricultural credit. Membership in farmer organizations is included to capture collective action and information exchange mechanisms. Climate related variables are introduced to account for both objective exposure and subjective interpretation of environmental change. Exposure to climate shocks is measured through reported experience of events such as floods, cyclones, or salinity intrusion within a defined time frame. Perceptions of climate change are captured through survey responses on changes in temperature, rainfall patterns, and frequency of extreme events. These variables enter the model to reflect how observed and perceived risks shape the incentives to adopt climate responsive practices. The definition and measurement of each variable are summarized in Table 1, which provides the operational coding used in the estimation.

Multicollinearity Diagnosis

Multicollinearity among explanatory variables was assessed using variance inflation factors (VIF). As shown in Table 2, all VIF values are below the commonly accepted threshold of 10, indicating that multicollinearity is not a concern in the regression model (Gujarati, 2004).

Results and Discussion

Descriptive Statistics

Table 1 summarizes the variables used in the empirical analysis and provides an overview of the sample structure. Adoption rates for the five CSA practices fall within a relatively narrow range (62.4 percent to 69.0 percent). Integrated pest management and integrated soil fertility management record the highest uptake at 69.0 percent and 68.8 percent, respectively. Agroforestry follows at 63.5 percent, while crop diversification and small-scale irrigation each stand at 62.4 percent. The clustering of adoption rates within this interval suggests that no single practice dominates choices of the farmers. This is consistent with a setting where multiple practices are considered jointly under similar constraints.

Household characteristics reflect a smallholder production environment. The average age of the household head is 41.9 years, with 7.8 years of formal education and 24.5 years of farming experience. These figures indicate that most respondents combine moderate schooling with substantial exposure to agricultural production. The average household comprises 5.8 members, of whom approximately 1.92 are economically active. Male headed households account for 92 percent of the sample, and 82 percent report farming as the primary occupation. This reinforces the dominance of agriculture in household income generation. Resource endowments show variation across households. Mean landholding is 125.9 decimals, while the average value of household assets is BDT 227983. Livestock ownership is reported by 59 percent of households, indicating the presence of mixed farming systems in a significant share of the sample. Such variation in asset portfolios is relevant for understanding differences in adoption capacity, as both land and non-land assets shape investment decisions. Exposure to production risk is substantial. Most of the respondents report experiencing soil salinity, with 65 percent indicating direct exposure. Crop failure is reported by 69 percent of households, while pest and drought shocks are noted by 51 percent and 53 percent, respectively. These figures point to a production environment characterized by recurrent climatic and biological stress. Access to institutional services remains uneven. Credit is available to 58 percent of households, extension services reach 62 percent, and 69 percent report access to market information. The average distance to markets is 2.2 kilometres that suggests physical access constraints are present but not prohibitive for most households.

CSA Adoption Intensity

Table 3 presents the distribution of the normalized adoption index that captures the number of CSA practices adopted by each household. The distribution is skewed toward multiple practice adoption. Only 0.60 percent of households report no adoption, while 4.43 percent adopt a single practice and 16.70 percent adopt two practices. These categories represent a relatively small share of the sample.





Table 1. Description of the Variables

Variables	Description of the variables	Measurement / Type	Mean	SD	Min	Max
Dependent variables						
Crop diversification	Adoption of crop diversification by the household	Dummy, 1= yes, 0= otherwise	0.624	0.51	0	1
Agroforestry	Adoption of agroforestry by the household	Dummy, 1= yes, 0= otherwise	0.635	0.43	0	1
Integrated soil fertility management	Adoption of integrated soil fertility management by the household	Dummy, 1= yes, 0= otherwise	0.688	0.42	0	1
Small-scale irrigation	Adoption of small-scale irrigation by the household	Dummy, 1= yes, 0= otherwise	0.624	0.41	0	1
Integrated pest management	Adoption of integrated pest management by the household	Dummy, 1= yes, 0= otherwise	0.690	0.49	0	1
Independent Variables						
<i>Demographic and human capital variables</i>						
Age	Age of the household head (years)	Continuous	41.9	8.9	23	87
Gender	Gender of the household head	Dummy, 1= yes, 0= otherwise	0.92	0.298	0	1
Education of the household head	Education of the household head (years)	Continuous	7.8	2.54	0	16
Farming experience	Farming experience of the household head (years)	Continuous	24.5	7.6	0	51
Family size	No. of members in the family	Discrete	5.8	1.9	4	11
Working family members	No. of household members actively engaged in income-generating activities	Discrete	1.92	0.591	1	6
Main occupation	Main occupation of the household head	Dummy, 1= yes, 0= otherwise	0.82	0.312	0	1
<i>Farm characteristics and assets</i>						
Total agricultural land	Total agricultural land of the household (decimal)	Continuous	125.92	46.998	40	320
Total asset value	Total value of the assets owned by the household (BDT)	Continuous	227982.9	121886.3	25000	605000
Livestock ownership	Livestock ownership of the household	Dummy, 1= yes, 0= otherwise	0.59	0.41	0	1
Soil fertility perception	Subjective assessment of the household whether the soil on their agricultural land is fertile.	Dummy, 1= yes, 0= otherwise	0.61	0.49	0	1
Soil salinity perception	Subjective assessment of the household whether their agricultural land is affected by soil salinity	Dummy, 1= yes, 0= otherwise	0.65	0.48	0	1
Irrigation frequency	No. of times irrigation was applied to crops during the previous cropping season	Discrete	9.2	1.9	2	12
Prior crop failure	Whether the household experienced a crop failure in the most previous cropping season	Dummy, 1= yes, 0= otherwise	0.69	0.45	0	1
Subsidy beneficiary	Whether the household received any form of agricultural subsidy in the previous cropping season	Dummy, 1= yes, 0= otherwise	0.62	0.42	0	1
Market access	Proxy variable representing the distance (in kilometers) from the household to nearest agricultural market	Continuous	2.2	1.5	0	8
Access to credit	Whether the household had access to credit in the previous cropping season	Dummy, 1= yes, 0= otherwise	0.58	0.48	0	1
<i>Climate and risk related variables</i>						
Pest experience	Whether the household experienced a pest infestation affecting their crops in the previous cropping season	Dummy, 1= yes, 0= otherwise	0.51	0.43	0	1
Drought experience	Whether the household experienced a drought in the previous cropping season	Dummy, 1= yes, 0= otherwise	0.53	0.59	0	1
Perception of climate change	Subjective assessment of the household on whether they observed noticeable changes in climate patterns such as rainfall irregularity, rising temperatures, or extreme weather events over recent years.	Dummy, 1= yes, 0= otherwise	0.62	0.47	0	1
<i>Institutional and infrastructure access</i>						
Access to extension services	Whether the household received agricultural advice or support from government or Non-Governmental Organization extension officers in the last cropping season	Dummy, 1= yes, 0= otherwise	0.62	0.47	0	1
Access to market information	Whether the household received any timely and relevant market information through any medium such as mobile phone, television, radio, extension agents, or community networks.	Dummy, 1= yes, 0= otherwise	0.69	0.47	0	1

SD: Standard deviation





Table 2. Collinearity Statistics

Variables	VIF	1/VIF
Age	1.5	0.667
Gender	1.6	0.625
Education of the household head	1.2	0.833
Farming experience	1.7	0.588
Family size	1.9	0.526
Working family members	1.6	0.625
Main occupation	1.3	0.769
Total agricultural land	1.2	0.833
Total asset value	1.5	0.667
Livestock ownership	1.6	0.625
Soil fertility perception	1.6	0.625
Soil salinity perception	1.5	0.667
Irrigation frequency	1.5	0.667
Prior crop failure	1.6	0.625
Subsidy beneficiary	1.5	0.667
Market access	1.9	0.526
Access to credit	1.4	0.714
Pest experience	1.7	0.588
Drought experience	1.4	0.714
Perception of climate change	1.5	0.667
Access to extension services	1.5	0.667
Access to market information	1.5	0.667
Mean VIF	1.53	

Source: Field Survey, 2025.

Table 3. Distribution of the Normalized CSA Adoption Index

CSA Adoption Index (Normalized)	Frequency	Percentage (%)	Cumulative Percentage (%)
0.0	3	0.60	0.60
0.2	22	4.43	5.03
0.4	83	16.70	21.73
0.6	184	37.02	58.75
0.8	167	33.60	92.35
1.0	38	7.65	100.00
Total	497	100.00	

Note: The CSA adoption index is calculated as the proportion of five CSA practices adopted by each household, where each practice is binary-coded (1 = adopted, 0 = not adopted). The index ranges from 0 (no adoption) to 1 (full adoption of all practices).

The majority of households adopt three or more practices. Adoption of three practices accounts for 37.02 percent of the sample, and 33.60 percent adopt four practices. These two groups together comprise more than seventy percent of all households. 7.65 percent of the households adopt all five practices considered in the index. The concentration of observations in the upper range of the distribution indicates that farmers tend to combine practices rather than rely on isolated interventions. This pattern is consistent with a production setting in which different practices address distinct but related constraints.

Correlation Analysis of the Dependent Variable

Table 4 reports pairwise correlations among the adoption decisions for the five practices. The estimated coefficients are modest in magnitude, but they are not negligible. This pattern indicates that CSA adoption choices are neither fully independent nor strongly synchronized. Certain relationships are positive. Crop diversification exhibits a positive association with integrated soil fertility management, with a correlation coefficient of 0.16. Other relationships are negative. Crop diversification is negatively correlated with small scale irrigation at negative 0.27. Integrated soil fertility management shows a negative correlation with small scale irrigation at negative 0.29, and small-scale irrigation is negatively associated with integrated pest management at negative 0.18. These negative correlations suggest that some practices may compete for resources or reflect trade-offs in management strategies.

The presence of statistically significant correlations across several pairs of adoption decisions implies interdependence in farmers' choices. The magnitude of these correlations remains limited, which indicates that the interdependence is partial rather than deterministic. This empirical pattern supports a modeling approach that allows for correlated error structures across adoption equations, as implemented in the MVP framework.





Table 4. Correlation Coefficients for Multivariate Probit Regression Equations

Variables	Crop Diversification	Agroforestry	Integrated Soil Fertility Management	Small-scale Irrigation	Integrated Pest Management
Crop Diversification	1	0.07	0.16	-0.27	0.06
Agroforestry	0.07	1	0.01	-0.14	-0.002
Integrated Soil Fertility Management	*0.16	0.03	1	**0.29	-0.003
Small-scale Irrigation	*-0.27	-0.14	*-0.29	1	*-0.18
Integrated Pest Management	0.06	-0.002	-0.003	**0.18	1

Note: ***, ** and * represent statistically significant at 1%, 5%, and 10%, respectively.

Table 5. Results of Multivariate Probit Regression Model

Independent variables	CSA Practices (dependent variables)									
	Crop diversification		Agroforestry		Integrated soil fertility management		Small-scale irrigation		Integrated pest management	
	CE	ME	CE	ME	CE	ME	CE	ME	CE	ME
Demographic and human capital variables										
Age (years)	0.002	0.005	0.004	0.002	-0.005	-0.001	-0.006	-0.001	-0.007	-0.001
Gender (1= male; 0 = female)	0.579	0.217	0.105	0.052	0.361	0.083	0.178	0.068	0.499	0.188
Education of the household head (years)	0.015	0.014	0.027**	0.025*	0.014*	0.012*	0.013*	0.035*	0.022*	0.080*
Farming experience (years)	**0.04	**0.02	0.006	0.009	0.003	0.001	0.005	0.003	-0.003	-0.004
Family size (no. of members)	0.021	0.008	0.109	0.025	0.074*	0.036*	0.170	0.041	-0.016	-0.005
Working family members	0.011	0.004	0.069	0.041	0.091*	0.041*	0.065	0.012	0.176	0.061
Main occupation (1 = agriculture, 0 = business)	0.003	0.009	0.142*	0.078*	0.091	0.029	-0.899	-0.087	-0.044	-0.002
Farm characteristics and assets										
Total agricultural land (decimal)	0.051	0.056	0.032**	0.043*	*0.012	*0.015	0.023**	0.023**	0.003	0.005
Total asset value (BDT)	0.007	0.006	*0.003	*0.005	-0.003	-0.002	0.005	-0.003	0.001	0.003
Livestock ownership (1= yes, 0 = no)	0.076	0.075	0.213*	0.053*	0.185*	0.072*	-0.230	-0.074	0.031	-0.032
Soil fertility perception (1=yes, 0 = no)	0.877	0.065	-0.023	-0.021	-0.054	-0.034	0.031	0.013	-0.069	-0.045
Soil salinity perception (1=yes, 0=no)	-	-	0.989**	0.188*	0.176	0.076	0.510	0.188	-	-
	0.555	0.043	*	**					0.421**	0.170*
	*	*							*	*
Irrigation frequency (no.)	0.081	0.031	0.091*	0.005*	0.031	0.003	-0.004	0.002	*0.053	*0.021
	*	*								
Prior crop failure (1=yes, 0=no)	0.213	0.067	-0.087	-0.086	*0.250	*0.072	**0.213	**0.053	-0.065	-0.018
Independent variables										
CSA Practices (dependent variables)										
Subsidy beneficiary (1=yes, 0=no)	Crop diversification		Agroforestry		Integrated soil fertility management		Small-scale irrigation		Integrated pest management	
	CE	ME	CE	ME	CE	ME	CE	ME	CE	ME
	-	-	0.250	0.069*	0.035	0.025	0.650	0.155	0.058	0.060
Market access (km)	0.024	0.015	*							
Access to credit (1=yes, 0=no)	0.017	0.005	0.035	0.004	0.005	0.002	-0.069*	-0.018*	0.019	0.007
	0.057	0.014	**0.04	**0.01	0.244*	0.01*	0.366*	0.058*	0.254*	0.067*
	**	**					**	**		
Climate and risk related variables										
Pest experience (1=yes, 0=no)	-	-	-	-0.058	-0.074	-0.024	-0.312	-0.075	**0.061	**0.007
	0.041	0.014	0.240							
Drought experience (1=yes, 0=no)	0.048	0.014	0.257	0.061	0.133	0.051	0.021*	0.002*	0.071	0.031
	*	*					**	**		
Perception of climate change (1=yes, 0=no)	**0.016	**0.004	0.134	0.052	0.247*	0.079*	0.511*	0.360*	0.137**	0.049**
							**	**		
Institutional and infrastructure access										
Access to extension services (1=yes, 0=no)	0.104	0.045	0.052	0.014*	0.105*	0.044*	0.357*	0.204*	0.360**	0.204***
			*		*	*	**	**	*	
Access to market information (1=yes, 0=no)	-	-	*0.157	*0.073	0.333*	0.094*	0.467*	0.145*	0.466**	0.144***
	0.004	0.001	7				**	**	*	
Constant	-	-	-		-0.03		**0.05		-0.06*	
	0.21*		0.31*							
	*		*							

Wald chi2 = 200.311; Log pseudolikelihood = -1503.447; Prob > chi2 = 0.000; Number of observations = 497.

CE=Coefficients; ME= Marginal effects

Note: ***, ** and * represent statistically significant at 1%, 5%, and 10%, respectively.





Results of MVP Model

Table 5 presents the estimates from the MVP model for the adoption of five CSA practices. The joint significance of the model is confirmed by the Wald statistic of 200.31 with a probability value below 0.01. This indicates that the set of explanatory variables, taken together, has substantial explanatory power in accounting for observed adoption patterns across practices.

Human capital emerges as a consistent determinant of adoption behavior. Years of schooling of the household head are positively associated with several practices. The marginal effects indicate statistically significant increases in the probability of adopting agroforestry at 0.025, integrated soil fertility management at 0.012, small scale irrigation at 0.035, and integrated pest management at 0.080. These estimates point to a mechanism in which education enhances the capacity to interpret technical information and manage practices that require coordination of inputs and timing. Farm size shows a strong influence on CSA adoption decisions. Larger landholdings increase the likelihood of adopting crop diversification with a marginal effect of 0.056, agroforestry at 0.043, integrated soil fertility management at 0.015, and small-scale irrigation at 0.023. The pattern is consistent with a relaxation of scale related constraints. Households with more land can allocate plots across different uses and absorb potential short-term risks associated with new practices. Livestock ownership shows a positive association with agroforestry and integrated soil fertility management, with marginal effects of 0.053 and 0.072, respectively. This relationship reflects complementarities within mixed farming systems. Perceptions of environmental conditions shape adoption choices in a differentiated manner. Soil salinity increases the probability of adopting agroforestry with a marginal effect of 0.188, while it reduces the likelihood of crop diversification at negative 0.043 and integrated pest management at negative 0.170. These responses indicate that the household adjust their strategies in relation to specific stressors rather than adopting practices uniformly. The direction of the effects suggests that some practices are perceived as more suitable for coping with salinity than others. Institutional access plays a significant role. Credit availability raises the probability of adopting crop diversification at 0.014, integrated soil fertility management at 0.010, small scale irrigation at 0.058, and integrated pest management at 0.067. Access to extension services and market information shows particularly strong effects. The estimated marginal effects for extension are 0.204 for small scale irrigation and 0.204 for integrated pest management, while the corresponding effects for market information are 0.145 and 0.144. These magnitudes indicate that information and advisory support reduce uncertainty and facilitate the adoption of practices that require technical knowledge and coordination. Climate related experiences and perceptions further contribute to observed behavior. Exposure to drought increases the probability of adopting crop diversification at 0.014 and small scale irrigation at 0.002. Perception of climate change shows a stronger association with adoption, increasing the likelihood of integrated soil fertility management at 0.079, small scale irrigation at 0.360, and integrated pest management at 0.049.

Conclusion

This study investigates the adoption of CSA practices among modern rice farmers in the southern coastal region of Bangladesh, with attention to both the determinants of adoption and the extent to which practices are combined. The empirical strategy integrates MVP framework with an adoption index. This allows the analysis to reflect interdependent decision making across practices rather than treating adoption as a series of isolated choices. The results indicate that farmers adjust their production strategies in response to a combination of resource constraints, institutional access, and exposure to climatic stress. CSA adoption is not uniform. It reflects differences in capacity, information, and perceived risk.

Several implications follow directly from these findings. Strengthening extension services and improving the availability of climate related information would alter the informational environment in which farmers operate. The estimated effects indicate that access to such services reduces uncertainty and increases the likelihood of adopting practices that require technical coordination. Financial constraints also shape adoption decisions. Improved access to credit can ease liquidity limitations and enable households to undertake investments that are otherwise deferred, particularly in practices with upfront costs. Human capital plays a consistent role across several adoption outcomes. Education and training influence the ability to interpret information and implement management intensive practices. Policies that expand training opportunities and improve the quality of agricultural education would therefore have direct effects on adoption behavior. At the same time, heterogeneity in resource endowments implies uneven capacity to adopt. Households with limited land or assets face tighter constraints that restrict their ability to experiment with multiple practices. Targeted interventions that address these constraints are necessary if adoption is to extend beyond better resourced farmers. The evidence also points to the importance of aligning CSA with broader development strategies. Adoption decisions are shaped by both immediate production considerations and longer-term expectations about environmental change. Integrating climate responsive practices into rural development planning would reinforce their role in sustaining productivity under increasing climatic variability.





Declarations

Ethical Approval

The study protocol was approved by the relevant authority of the authors' university, and all survey procedures followed standard ethical guidelines. Participation was voluntary, informed consent was obtained from all respondents, and all data were kept anonymous and confidential.

Author Contribution Statement

Ehsanur Rauf Prince conducted all aspects of the study and wrote the entire manuscript.

Fund Statement

No external funding was received for this study.

Conflict of Interest

The author declares no conflict of interest.

References

- Abid, M., Scheffran, J., Schneider, U. A., & Ashfaq, M. (2015). Farmers' perceptions and adaptation strategies to climate change and their determinants: The case of Punjab Province, Pakistan. *Earth System Dynamics*, 6, 225–243. <https://doi.org/10.5194/esd-6-225-2015>
- Asian Development Bank Institute. (2009). Agricultural impact of climate change: A general equilibrium analysis with special reference to Southeast Asia (Working Paper No. 131). Asian Development Bank Institute.
- Arslan, A., McCarthy, N., Lipper, L., Asfaw, S., Cattaneo, A., & Kokwe, M. (2015). Climate-smart agriculture? Assessing the adaptation implications in Zambia. *Journal of Agricultural Economics*, 66(3), 753–780. <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12107>
- Belay, A., Recha, J. W., Woldeamanuel, T., & Morton, J. F. (2017). Smallholder farmers' adaptation to climate change in Ethiopia. *Agriculture & Food Security*, 6, 24.
- Campbell, B. M., Thornton, P., Zougmore, R., Van Asten, P., & Lipper, L. (2014). Sustainable intensification: What is its role in climate-smart agriculture? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 8, 39–43. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.07.002>
- De Pinto, A., Kwon, H. Y., Cenacchi, N., & Dunston, S. (2017). The effects of widespread adoption of climate-smart agriculture in Sub-Saharan Africa. *ReSAKSS Annual Trends Outlook Report*, 22–39.
- FAO. (2022). Climate-smart agriculture: Managing ecosystems for sustainable livelihoods. FAO.
- Gujarati, D. N. (2004). Basic econometrics (4th ed.). The McGraw-Hill Companies.
- International Labour Organization. (2024). Asia-Pacific employment and social outlook 2024. International Labour Organization.
- Islam, M. S., Samreth, S., Islam, A. H. M. S., & Sato, M. (2022). Climate change, climatic extremes, and households' food consumption in Bangladesh. *Environmental Challenges*, 7, 100495.
- Kabir, K. H., Sarker, S., Uddin, M. N., Leggette, H. R., Schneider, U. A., Darr, D., & Knierim, A. (2022). Furthering climate-smart farming with the introduction of floating agriculture in Bangladeshi wetlands: Successes and limitations of an innovation transfer. *Journal of Environmental Management*, 323, 116258.
- Kafiluddin, A., & Islam, M. S. (2008). Fertilizer distribution, subsidy, marketing, and agronomic use efficiency in Bangladesh. *IFA CAP Proceedings*.
- Kangogo, D., Dentoni, D., & Bijman, J. (2021). Adoption of climate-smart agriculture among smallholder farmers: Does farmer entrepreneurship matter? *Land Use Policy*, 109, 105666.
- Kassie, B. T., Hengsdijk, H., Rötter, R., Kahiluoto, H., Asseng, S., & van Ittersum, M. (2013). Adapting to climate variability and change. *Environmental Management*, 52, 1115–1131.
- Khatri-Chhetri, A., Aggarwal, P. K., Joshi, P. K., & Vyas, S. (2017). Farmers' prioritization of climate-smart agriculture technologies. *Agricultural Systems*, 151, 184–191.
- Kreft, S., Eckstein, D., & Melchior, I. (2017). Global climate risk index 2017. Germanwatch.
- Lipper, L., Thornton, P., Campbell, B. M., et al. (2014). Climate-smart agriculture for food security. *Nature Climate Change*, 4(12), 1068–1072.
- Ma, W., & Rahut, D. B. (2024). Climate-smart agriculture: Adoption, impacts, and implications for sustainable development. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 29, 44. <https://doi.org/10.1007/s11027-024-10139-z>
- Moshi, A., Hella, J., & Isinika, A. (2016). Climate variability and farm technology adoption decisions among smallholder farmers in Pangani River Basin. *Journal of Economics and Sustainable Development*, 7(2), 18–24.
- Musafiri, C. M., Kiboi, M., Macharia, J., Ng'etich, O. K., Kosgei, D. K., Mulianga, B., Okoti, M., & Ngetich, F. K. (2022). Adoption of climate-smart agricultural practices among smallholder farmers in Western Kenya: Do socioeconomic, institutional, and biophysical factors matter? *Heliyon*, 8(1).
- Partey, S. T., Zougmore, R. B., Ouédraogo, M., & Campbell, B. M. (2018). Developing climate-smart agriculture to face climate variability in West Africa: Challenges and lessons learnt. *Journal of Cleaner Production*, 187, 285–295.
- Rahman, M. M., Aravindakshan, S., Hoque, M. A., et al. (2021). Conservation tillage for climate-smart intensification. *Environmental and Sustainability Indicators*, 10, 100106.
- Saha, M. K., Biswas, A. A. A., Faisal, M., et al. (2019). Factors affecting adoption of climate-smart agriculture practices. *American Journal of Environment and Sustainable Development*, 4(4), 113–121.





- Tajuddin, M., Dhar, A. R., & Rahman, M. H. (2017). Conservation agriculture practice in Bangladesh. *American Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 12(1), 55–65.
- Teklewold, H., Kassie, M., & Shiferaw, B. (2013). Adoption of multiple sustainable agricultural practices. *Journal of Agricultural Economics*, 64(3), 597–623.
- Tsige, M., Synnevåg, G., & Aune, J. B. (2024). Exploring effects of climate-smart agriculture innovations on women smallholders' livelihoods in Ethiopia. *Environment, Development and Sustainability*, 1–18.
- World Bank Group. (2021). Climate change action plan 2021–2025. World Bank





Probiotic Administration Coupled with Improved Gut Microbiota Diversity and Reduced Diarrheal Incidence in Young Goats

Mohamed Osman Abdalrahem Essa ^{1,2,†}, Cheng Cheng ¹, Jun Li ¹, Xiao Han ¹, Zhong Kang Wei ¹, Layla Ahmed Mohammed Abdelhadi ¹, Huda Ahmed Hassan ¹, Saber Y. Adam ³, Hosameldeen Mohamed Husien ^{2,3,†}, Ahmed A. Saleh ^{3,4,†} and Darong Cheng ^{1,5,*}

¹College of Veterinary Medicine, Yangzhou University, Yangzhou, 225009, Jiangsu, China.

²College of Veterinary Medicine, Albutana University, Rufaa, 22217, Sudan.

³College of Animal Science and Technology, Yangzhou University, Yangzhou, 225009, Jiangsu, China.

⁴Animal and Fish Production Department, Faculty of Agriculture (Al-Shatby), Alexandria University, Alexandria City 11865, Egypt.

⁵Jiangsu Co-innovation Center for Prevention and Control of Important Animal Infectious Diseases and Zoonoses, Yangzhou, Jiangsu 225009, China.

[†]These authors contributed equally to this work.

Mohamed Osman Abdalrahem Essa; e-mail; mohosman0999@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0380-9712>

Abstract

The possible health effects of probiotic therapies in young animals are drawing more attention. 15 weaned goat babies (2–3 months old; 10–15 kg body weight) participated in this study; 10 of them were healthy and 5 had diarrhea. The children were split into three groups: Probiotic-Treated Healthy (T), Diarrheic + Probiotic-Treated (D), and Healthy Control (H, no treatment). Every child was fed a controlled diet consisting of 60% maize, 15% pea skin, 15% silage, 5% hay, and 1% vitamin-mineral supplements while being kept in conventional environmental circumstances. For five days in a row, probiotic bacteria *Enterococcus faecium* and *Bacteroides fragilis* were given orally by gavage at a concentration of (1×10⁹) CFU/mL. The bacterial 16S rRNA gene was sequenced from fecal samples in order to determine the microbial composition. The species richness and diversity of the healthy groups were significantly higher than those of the diarrheal group (p < 0.01). *Bacillota*, *Bacteroidetes*, and *Pseudomonadota* were the most common phyla found. In healthy treated children, there was a drop in *Prevotellaceae* UG_001 and *Proteus* and an increase in *Xylanibacter*, UCG-055, *Bacteroides*, and *Escherichia-Shigella*. The results show notable differences in gut microbiota between children who are healthy and those who have diarrhea, indicating that changes in the composition of the gut microbiota may help prevent and treat diarrhea.

Keywords: Goat kids; Probiotics; Gut microbiota; Diarrhea; *Enterococcus faecium*; *Bacteroides fragilis*.





A Bibliometric Analysis of Probiotic Lactic Acid Bacteria in Mitigating *Escherichia coli* and Enhancing Poultry Growth Performance (2015–2025)

Widad A. Abdalla^{1,2}, Mohammed Osman Abdelrahem Essa⁴, Abdallah A. Basher^{1,2}, Saber Y. Adam¹,
Abdelkareem A. Ahmed³, Hao-Yu Liu^{1,2}, and Demin Cai^{1,*}

¹ College of Animal Science and Technology, Jiangsu Key Laboratory of Animal Genetic Breeding and Molecular Design, Yangzhou University, Yangzhou 225009, PR China

² Joint International Research Laboratory of Agricultural & Agri-Product Safety, The Ministry of Education of China, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China

³ Department of Veterinary Biomedical Sciences, Botswana University of Agriculture and Natural Resources, Gaborone P.O. Box 100, Botswana

⁴ College of Veterinary Medicine, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China

Abstract

As an antibiotic replacement, probiotics, especially lactic acid bacteria (LAB) are becoming very popular to improve the growth of poultry. They fight pathogenic *Escherichia coli* which adversely influences the health of the gut and the absorption of food. To understand how probiotics could be used to improve animal development performance one needs to understand the dynamics between LAB and *E. coli*. The purpose of the study was to conduct bibliometric analysis of the studies that used probiotic bacteria to inhibit the growth of *E. coli* and to enhance the growth performance of animals, which identified significant topics of research, influencers, main contributors, intellectual structures and potential solutions. The data retrieved by the Web of Science (WoSCC) database were used to retrieve the information regarding the years 2015-2025. A systematic search strategy was employed using keywords, such as, probiotic bacteria OR LAB and *E. coli* and growth performance. VOSviewer and the bibliometrix package in R tools were used to conduct bibliometric analyses. was then employed to examine the acquired metadata, such as co-authored nations, citation trends, and keywords. The findings indicated that the production of research had increased exponentially over the last decade with China, Iran and Malaysia leading in terms of the volume of research production, number of citations and international collaboration. The author who was cited the most was Zhang. As three topic clusters, the role of probiotics and synbiotics to improve gut health. Probiotic feed additives, antibacterial and growth-promoting were identified. Growth performance, probiotics, broiler, supplementation and microbiota have become more and more frequently used words. Future studies should concentrate on worldwide monitoring strategies, innovative antimicrobial alternatives, and interdisciplinary cooperation.

Keywords: probiotics; lactic acid bacteria; *Escherichia coli*; growth performance; poultry; bibliometric





Remittance Inflows and Sustainable Economic Growth in Bangladesh: An ARDL Bounds Testing Approach

Md. Safayat Hossen Roni¹, Md. Anowar Hossain¹, Babor Ahmad²

¹Department of Economics, Dhaka International University, Dhaka-1212, Bangladesh

²Department of Economics, Faculty of Social Science and Humanities, Hajee Mohammad Danesh Science and Technology University, Dinajpur-5200, Bangladesh

Abstract

As Bangladesh moves beyond LDC status, identifying the key drivers of sustained economic growth has become highly important. Remittance is one of the major sources of foreign exchange for Bangladesh and plays an important role in supporting household welfare and macroeconomic stability. However, its long-run contribution to economic growth remains an important empirical question. This study examines the impact of remittance on economic growth in Bangladesh using annual data from 1985 to 2024. The study applies the Autoregressive Distributed Lag (ARDL) model to analyze both short-run dynamics and long-run relationships. GDP per capita growth is examined in relation to remittance, investment, exports, foreign direct investment (FDI), and exchange rate. The Augmented Dickey-Fuller (ADF) test is used to check stationarity, while the ARDL bounds test is applied to examine cointegration. An Error Correction Model (ECM) is also used to analyze short-run adjustment. The findings show a strong and significant positive long-run relationship between remittance and economic growth. Investment and exports also contribute positively, while FDI is insignificant. Exchange rate depreciation negatively affects growth. The study suggests that remittance can support sustainable growth if it is productively invested and supported by economic diversification policies.

Keywords: Remittances, Economic Growth, Foreign Direct Investment, Exchange Rate Dynamics, Macroeconomic Stability

Introduction

Remittances have become one of the largest external sources of finance to the developing economies, bigger than and in most instances competing with foreign aid and in some ways, more stable than foreign direct investment. In the case of Bangladesh, where the labor migration have long been a traditional activity and the number of the overseas labor force is high, the remittance inflows have been entrenched in the national economy. Although their role in the household welfare and foreign exchange earnings is quite familiar, the larger issue of whether remittances will create long term macroeconomic growth is a topic of policy and academic concern. The chapter offers background, theoretical context, research questions and objectives which form the basis of the current study.

Background of the Study

The growing globalization of the world economy has radically changed the course of development of most developing countries, especially with the expansion of international labor migration and the continuous rise of the level of remittances (Hossain et al., 2025). Remittances as monetary returns that migrant workers send to their countries of origin have grown to be among the critical and dependable external funds of low-and middle-income countries. Remittances, in contrast to other capital flows like foreign direct investment or portfolio flows which happen to change very quickly and are quite sensitive to global market conditions, are stable and resilient in economic declines. This stability has transformed remittances in a supplementary income transfer into one of the essential aspects of the macroeconomic structure in the situation of Bangladesh. The inflows have overtime contributed greatly in raising the foreign exchange reserves, keeping the balance of payment constant and sustaining the domestic economic activity in the country as well thus making it a critical element in the overall economic performance of the country (World Bank, 2024).

Remittance Trends and Economic Context in Bangladesh

The dependence of remittances in Bangladesh is the fact that this nation had long enough experience with labour migration and the fact that it increased exponentially at the end of the twentieth century and the first part of the twenty first century (Sen et al., 2025). Unemployment and the growing population of laborers in the nation resulted in migration of large number of Bangladeshi workers to other nations and most of them were the countries in Middle East, Southeast Asia where they got more opportunities in terms of their economic benefits. The





dividends returned by these workers in their home countries have led to an ever and ever-increasing flow of foreign exchange to the local economy. This flow has not only contributed towards the sustenance of the household income but also towards the provision of the macroeconomic stability of a buffer against foreign shocks. At the same time, Bangladesh has reported a consistent record of economic growth trajectory, in regard to enlarged GDP per capita, positive social pointers, and slow structural transformations (Ahmad, 2024). Whereas the fact that the remittances increased at the same pace with the development of the economy tends to suggest that remittances are influencing the economic progress positively, there is some underlying pattern that is seen in the respective process, which should be an object of analytical interest.

Theoretical Framework & Key Issues

At the microeconomic level, the remittances are required in the effects of raising the well-being of the homes by providing them the financial right to consume, which improves the higher quality of living. By the remittances being received by the families, they find it possible to spend more on the basic commodities and services like food, medical, education and shelter. The advantage of such expenditures is that the human capital is developed which has been admittedly one of the key factors to have the economic growth in the long term. In addition to that, the remittances might also act as the initial capital of small scale entrepreneurial venture so that they can not only multiply the source of income of households, but also reduce the effects of economic shocks. The problem is, however, on eased transfer of these micro-level gains to larger macro-economic costs is not self-evident. Consumption even though it causes demand and economic action in the short-run will not lead to long run growth unless it is reinforced by productive investment and production changes. This distinction serves as the reason to view the need to see an alteration in the scale of the remittances and their implementation in the economy (Majumder & Donghui, 2016).

Pattern of remittance income allocation is therefore among the indicators of the total impact of the remittance income on the growth of the economy (Uddin et al., 2026). The context of incorporating high percentage of remittances in most developing states like Bangladesh can be used to spend on consumption, rather than investment in the long run. Although this form of spending is needed in transforming the standard of living and poverty reduction, it would limit the fact that remittances might be better readers in capital formation and structural transformation. On the contrary, when the remittances are injected in productive activities such as education, business construction or assets accumulation; they can increase productive capacity of the economy and in fact they can facilitate the sustainable development. The extent to which remittances are used to invest is pegged on a variety of factors and these factors are: Access to financial services, access to good opportunities to invest and finally the overall economic climate. According to the empirical evidence, higher growth effects are more significant in the economies with the developed financial systems and conducive policy regimes (Akter et al., 2024).

Remittances have indirect impacts as well as they interact with other macroeconomic variables which have increased economic growth (Uddin et al., 2026). The process is dependent on the influences of investment, export performance, foreign direct investment and the exchange rate dynamics which are all important variables. These aspects can be complemented through the assistance of remittances wherein liquidity is increased, and credit limits are improved and demand is promoted within the country. Yet they too can lead to a certain amount of macroeconomic issues unless they are properly managed. One of these problems is that the likelihood of appreciation of the exchange rates can arise because of the high outlays of the foreign currency that will reduce the competitiveness of the export sectors. The specified phenomenon applies to the case of Bangladesh specifically where the industry of ready-made garments, export-oriented development, in particular, has been a vital element in the economical enhancement. Any detrimental impact of the export competitiveness will have social implications on the end-term economic performance, (Afrouse & Rahman, 2025).

Along with the macroeconomic reasons, other factors that determine the impact of remittance in economic growth are institutional and the socio-economic factors (Begum et al., 2026). The ultimate success of remittances in the development of a particular nation is largely pegged on the macro climate, in which the remittance is taken and used. These are the variables that affect the spread of income of remittance, in other words, the financial inclusion, level of education and mode of governance, which affect the income of remittances. Remittance will be under-invested and will be rather consumed in the cases of financial system not being developed and formal financial services being absent as well. On a similar note, education and skills deficiency might limit the capacity to remittance income utilization in productive investment among the households. The existence of these structural frustrations in Bangladesh can terminate the value of remittance advantage as an economic change in a long-run that demonstrates the value of additional policies to make healthy use of these remittances (Hossain, 2025; Shirin, 2025).

This is because remittance-economic growth relation is a multi-layered issue which has received varying perceptions in literature. Despite multiple studies that indicate that remittances positively impact the welfare of various countries, by increasing the level of activity in the economy, alleviating poverty, fostering investment, other branches of the literature reveal possible negative effects, including creating dependency, decreased participation in the labor market, and the threat of macroeconomic imbalances. Such hostile images imply that the





impact of remittance is something that is directly targeted to a scenario and that it is contingent upon a series of economic and institutional considerations. The interdependence between remittances and development will be somewhat desired especially in Bangladesh where the remittances make a colossal percentage of national income in order to create development strategies. A very critical analysis with consideration of the benefit and the possible risks of the inflows of remittances are therefore much required to see both sides of the coin.

Research Questions

To address the complexities of the remittance-growth relationship in Bangladesh, this study seeks to answer the following three core questions:

1. What are the short-run and long-run effects of remittance inflows on Bangladesh's GDP growth?
2. Do remittances primarily drive economic growth through household consumption or through productive capital investment?
3. How do remittance inflows interact with exchange rate dynamics and export competitiveness in the context of Bangladesh?

Objectives of the Study

This study aims at providing a detailed empirical study on the impacts of remittance on economic growth in Bangladesh with the setting of macro economy. By doing so it includes some of the macroeconomic variables that it wants to capture, namely investment, exports, foreign direct investment and exchange rates, in a bid to capture the bigger economy on which remittances affect. The research will be introduced as interacting with each other and hence an extension of the small analysis of remittance inflows but rather analyze their interaction with other notable variables of economic performance as already highlighted by the research work (Akter et al., 2024; Afrouse & Rahman, 2025). To do so, the paper uses Autoregressive Distributed Lag (ARDL) model that enables one in exploring the short run phenomenon along with the long run equilibrium relationship that exists between the variables (Pesaran et al., 2001). It is a methodological context which can best suit the understandable effects of remittances on economic growth in the long-term and how to create channel to actualize the effects. In addition, we will analyze the relative significance of remittances as compared to other macroeconomic variables, which will provide a more comprehensive picture of the effect remittances have on the growth process. Finally, the paper will work toward providing evidence based conclusions on the question whether remittances are a contributor to sustainable economic growth or whether they are mostly instrumental in the short run to support consumption which is a highly controversial issue in the literature (Majumder & Donghui, 2016), and to what extent the utility that remittance provides, is predetermined by the macroeconomic and institutional setting in Bangladesh.

Significance of the Study

The topicality of the analysis can also be explained by the creation of the economical level that can be felt by Bangladesh at the specified point in time. The necessity to continue its growth pattern has become one of the priorities as the country is on the course of leaving the Least Developed Country category. Although the role played by remittances had been limiting the balance in the economy of the previous years, the future of the remittances could be shaped by the dynamics of the world economy, changes in the migration trends as well as the alteration in the trend of the labour market in the countries where remittance activities are being undertaken. This brings serious concerns about the sustenance of the economy which has been based on the reliance of the economy on the remittance and the necessity to possess diversity in the economic growth sources. It is only upon having understood the role of the remittances in this bigger picture that one can develop the conception of the remittances policies that can play a positive role in resiliency and sustainable development.

Study Scope and Limitations

This study will concentrate on the impacts of remittance inflows on a macroeconomic setting of economic development of Bangladesh. Key macroeconomic variables that are analyzed towards identifying their total effect on GDP growth are, investment, exports, foreign direct investment, exchange rate as well as remittances in the analysis. It is estimated with the help of the secondary time-series data and can utilize the model of Autoregressive Distributed Lag (ARDL) in order to determine both short-term and long-term relationship between the variables. The article is narrowed down to the economy of Bangladesh and research does not consider cross-country analysis. In addition, secondary data is a weakness to the analysis due to the availability of secondary data and data reliability. It also omits micro-level household survey data information which can also further explain the patterns of remittances utilization at individual level. Even more so, structural and institutional features come straddling and are brought out at the theoretic but do not quantify these empirically due to the limitations of data. Despite these limitations, the study will be able to provide useful information on the significance of remittances in the macro economy and can be applied in deciphering the impact of remittances on economic growth in Bangladesh.





Literature Review

The chapter is a review of the available literature on the relationship between remittances and the economic growth in Bangladesh. Since Bangladesh is one of the largest recipients of remittance inflows in the world, a critical insight into the impact that these funds have on macroeconomic performance is critical to the academic literature as well as policy implications. The review relates on empirical research, theoretical framework and methodology to provide a comprehensive evaluation of the remittance-growth nexus. It also outlines the research gaps that are available and finally gives the conclusion of the main findings towards the end of the literature.

Conceptual Review

Remittances have guaranteed economic growth and macroeconomic stability in Bangladesh particularly during the past thirty years. Bangladesh belongs to the developing countries, which at present, experience the greatest flows of remittance money, and with the flow of migrant income, the country registered an impressive growth in foreign exchange reserves, elimination of poverty and improvement of the economic performance of the country. The inflows have not only accumulated the balance of payment, but it has also been utilized at a reasonable extent to domestic consumption, savings and investment. This predisposed the problem of relationship between economic growth and remittances as a controversial topic within the line of empirical economic research.

Empirical Review

The abundance of literature provides once again a solid fact that the relationship between the remittances and the economic growth in Bangladesh exists. Majumder & Donghui (2016), in analyzing the Remittance inflows and gross domestic product using the Autoregressive Distributed Lag (ARDL) model, discovered that there is a strong relationship between Remittance inflows and gross domestic product in their long-run equilibrium. They conclude that the remittances play a monumental role in the growth of the economy through increasing the level of household income that is converted to expenditure and savings. This propagation of consumption manufactures multiplier and supplementary production and activity of the economy. The same applies to Islam (2020), which also applied both the models of the time-series economic modeling, and concluded that the inflows of remittance had the positively significant effect on the GDP growth, which supports the argument that remittance is one of the driving factors of economic growth in Bangladesh.

Theoretical Review

These five theoretical foundations justifying the relationship between remittance and economic growth are grounded in a framework of interrelated structures that delivers a unique outlook considering which the macroeconomic effect of an impending remittances influx in an economy can be factored. The Keynesian theory of multiplier, the neoclassical theory of growth, the role of the Dutch Disease theory, financial development hypothesis and the human capital theory are the major sources of information of the current research.

Keynesian Multiplier Framework

The theoretical account of growth implications of remittances is most imminent on the Keynesian multiplier theory. Based on this method, an exogenous transfer of income to an economy triggers aggregate demand by raising household consumption expenditure that triggers multiplied rounds of economic actions that enhance a multiplier of the initial income impact in the economy. The ARDL-based study by Majumder and Donghui (2016) explicitly uses this rationale in their analysis on Bangladesh and discover that the remittance inflows stimulate the household incomes that in turn are transformed into consumption and savings in triggering multiplier effect on aggregate output. Similar is found in the context of Islam (2020) who also puts his empirical results into this framework of consumption driven demand where he validates that remittances do have a statistically significant positive impact on GDP growth. Although Keynesian approach is good in explaining the short-run growth dividend of remittances, it, on its part, fails to explain how or when these gains can result in long-run structural development.

The Neoclassical Growth Model and Capital Accumulation

The theoretic approach of neoclassical growth model is a complement to the first theoretical approach by offering the idea of capital accumulation in advancing the long-run economic growth. In this context, the idea of remittances is not just a production source of consumption but can also be the productive investment channel. By making inflows to physical capital formation (such as small enterprises, housing, or productive investments) the recipients in other words increase the stock of capital in the economy, which increases the output per worker in the long run. The results of Akter et al. (2024) which use the ARDL model to calculate the results of the analysis using Bangladeshi data confirm the existence of such a channel of capital accumulation and show that remittances have a positive effect on investment and export activity in addition to GDP growth. It also means that by itself, remittances are not able to achieve the indefinite growth without the additional boosts in the total factor productivity and institutional quality (Gujarati and Porter, 2009; Stock and Watson, 2020).

Financial Development Hypothesis

Financial development hypothesis is the notion that remittances will yield greater dividends in form of growth in a country where there is adequate development of the financial operations to assimilate savings among the





households into productive investment. In remittances where recipients have formal banking and credit markets they are more likely to be intermediated into capital formation as opposed to consumption. Direct evidence of this dynamic, as presented by Miah and Bhattacharjee (2024), is that the policy of cash incentive on formal remittance transfers by the government in Bangladesh boosted inflows in formal banking channels significantly improving the productive use of the foreign exchange. Providing evidence based on the statistics in 103 third-world economies, Azizi (2021) also supports the idea that the role of remittances in poverty reduction and enhancing the growth of the recipient country largely depends on the financial and human capital context of the latter.

The Dutch Disease Framework

The theory which has the most significant theoretical value against the hopeful attitude towards remittances as an expansive driver is the Dutch Disease hypothesis. The basic concept is that the ongoing inflow of inflows in foreign currency will result in the appreciation of the real exchange rate such that domestically produced tradeable goods will become expensive to trade internationally rendering them uncompetitive. Afrouse and Rahman (2025) very clearly appeal to this scheme when they write about Bangladesh by claiming that long-term inflows of remittances would run the risk of appreciation of the exchange rate and competitiveness loss in the ready-made garments industry. This apprehension is empirically supported by Chowdhury and Rabbi (2014) whose analysis in terms of Vector Error Correction Model has statistically significant evidence of real appreciation of exchange rates that can be attributed to the inflows of remittances, and the negative effects on the competitiveness of external trade. The situation is furthered by the fact that the causal relationship between remittances and output in Bangladesh is shown to be one way only by Paul et al. (2011) implying that the exchange rate feedback mechanisms might reduce net growth benefit of remittance inflows over the course of time.

Human Capital Theory and Socio-Institutional Conditionality

Human capital theory, which is the theory of remittances growth in the long-run is based on whether remittances-investment in education results in productive human capital. This transmission is not automatic though in Bangladesh. Hossain (2025) reveals that social-cultural exclusion (of women to higher education) is a major constraint to human capital returns on investing in education financed by remittances, which is echoed by Shirin (2025). At the institutional level, Khan (2025) suggests institutional governance shortcomings in the institution of secondary and higher education known as the Directorate of Secondary and Higher Education, and Rahman (2025) presents the lack of structure in the autonomous learning capabilities of the Bangladeshi students, as another limiting factor at the structural level. All these socio-institutional conditions are pointing at the fact that any further rise in remittance financed educational spending do not have a direct predictive value in terms of a commensurate rise in productivity that the long-run growth demands.

Theoretical Positing of the Current Research

The above reviewed frameworks all attest to the fact that the remittance-growth connection is neither straightforward nor linear. The present study operationalizes the key theoretical channels distinguishable in each of these traditions, by including investment, exports, FDI, and the exchange rate into an ARDL bounds testing model (Pesaran et al., 2001), and contextualizes its empirical results, in the wider context of socio-institutional relations outlined by Hossain (2025), Khan (2025), Rahman (2025), Shirin (2025).

Review of Methodologies

The results of these studies are also more credible by the approach the methodology used in the greater part of these studies. The ease provided on the treatment of the variables of varying orders of integration namely $I(0)$ and $I(1)$ is the superiority of ARDL model in remittance-growth nexus analysis. The approach allows the researcher to test both short-run and long-run equilibrium relationship on one framework. ARDL bounds testing procedure is particularly useful in arriving at a relationship between variables which is cointegrating to ensure that the result is not spurious. At that, the ARDL technique employed by Majumder and Donghui (2016), Islam (2020), and Akter et al. (2024) provides a valid a priori that the empirical relationship between remittances and economic growth in the long-run is stable in Bangladesh.

The government policy also takes the center stage to dictate the influence of remittances to the economic growth. The Bangladesh government has learnt how important the remittance inflows are and as a consequence, it among numerous other policy interventions, has developed a set of policy interventions that are focused on encouraging the use of formal mechanisms of transfers. One such initiative is the most vivid, which is cash incentives on remittance transfers. A comparison of the usefulness of this policy made by Miah and Bhattacharjee (2024) through applying ARDL Bound testing has found that the incentive improved significant remittance inflows through official banking channels. This has contributed towards the enhancement of foreign exchange reserves, transparency of finance and reduced reliance on the informal channels such as hundi. Their research however indicates that it is a slow process of having to adapt to external shocks as it is exhibited in the error correction term. The adjustment rate is a pointer that though the economy responds supportive to policy interventions, it is time consumed to in the long run regain equilibrium after buoyancy of the flow of remittances.





Research Gap

Insufficient Integration of Macroeconomic Variables

Even though there has been an increased literature of empirical studies that explore the relationship between remittance and growth nexus in Bangladesh, there are still some glaring gaps that the current study attempts to fill. Most of the available literature such as the work of Majumder and Donghui (2016), Islam (2020), and Akter et al.(2024) have been focused largely on making the direct positive linkage between remittance inflows and GDP growth by way of consumption and capital formation. Although these contributions are helpful, a common element is that these contributions do not give enough attention to the macroeconomic interactions at large, spanning investment, exchange rate dynamics, and export performance on a unified platform. The current research paper fills this gap directly and sets all these variables into an ARDL bounds testing framework through the data of 1985 to 2024 in annual data to provide an econometric evaluation of the relationship between remittance and growth in Bangladesh in a comprehensive and up-to-date way.

The Underexplored Exchange Rate Channel

One such gap in the current literature is related to the mechanism of the exchange rate dynamics in mediating the effects of remittances on economic growth. Afrouse and Rahman (2025) highlight the Dutch Disease hypothesis, where excessive inflows of remittances sustained over a long period of time can find their way to the real exchange rate and increase the value of the real exchange rate, thus undermining the competitiveness of the Bangladesh manufacturing and garment industries in exports. Chowdhury and Rabbi (2014), applying the methods of Johansen cointegration, Vector Error Correction Model to the data set obtained within the period of 1971 and 2008, prove this worry is, in fact, justified, as the remittance inflows are known to remarkably appreciate the real exchange rate and undermine the competitiveness in external trade operations. In a similar study, Paul et al. (2011), use of the ARDL bounds testing strategy makes an observation of a complex relation between remittances and output in the long-run which concludes that the causal relation between remittances and growth is not always causally in one direction as is normally assumed. Overall, these results combine to indicate that the exchange rate channel is a highly important and under-researched facet of the relationship between remittance and growth in Bangladesh that requires the use of more recent data to capture the major currency devaluation strains and macroeconomic upheavals of the 2020s.

The Contested Role of Foreign Direct Investment

The contribution of foreign direct investment to the nexus of remittance and growth is another areas of controversy in the literature. Although a few studies consider FDI a complement to remittances, scholars such as Al Mamun and Kabir (2022), based on ARDL bounds tests, ascertain that FDI is a negative and not a positive stimulating factor to the economic growth of Bangladesh between periods of 1976 and 2019. This is as opposite to the traditional belief that FDI triggers growth by transfer of technology and capital accumulation. The current research will be part of this debate by revisiting FDI as one among a host of macroeconomic determinants of growth incorporating a via-extended dataset to 2024, thus reflecting the structural changes in the composition and effective impact of foreign capital flows that previously could not be featured in the previous research.

Socio-Institutional Barriers to Human Capital Development

Outside the macroeconomic factors, there is a second large gap that relates to the socio-institutional circumstances that influence the success of remittances as a growth engine in the long run. Hossain (2025) shows that socio- cultural traditions, especially those that limit access by women to forms of higher education seem to be deep-rooted barriers to the development of human capital and narrow the growth-promoting potential of remittance-funded investment in education. This is further supported by Shirin (2025) who demonstrates that by this means, women are still limited to participate in the education sector with perennial negative effects of the outcome to the productivity of the economy due to patriarchal norms. These deficits are further enhanced by institutional weaknesses in the education system of Bangladesh. Khan (2025) outlines such critical issues of governance failure in the Directorate of Secondary and Higher Education, such as the effective lack of qualified teachers in the institution, dysfunctional administrative constraints, which all lead to poor quality education. Rahman (2025) also reiterates that there are widespread shortcomings in the autonomous learning abilities of Bangladeshi students, which indicates that the caliber of learning, rather than access to schooling is a binding limit on the returns of human capital to remittance-financed schooling. The cross-country evidence provided by Azizi (2021) based on the data of 103 developing countries confirms that the poverty-reducing impact of remittances depends greatly on the human capital environment of this country.

Distributional Consequences and Regional Inequality

A third gap is that of the distributional implications of the remittance inflows. Although Azizi (2021) concludes that remittances have large effects on poverty headcount and poverty severity, the effects of remittances on income inequality are much less clear. In a synthesis, providing a comprehensive review of more than 130 empirical studies (Meyer and Shera, 2017), there is no consensus that remittances are causing an increase or a decrease in the level of inequality since gains might be concentrated to households who already have the migration networks and financial resources to obtain the gains. Although the distributional dynamic is of policy importance in Bangladesh, where regional economic inequalities are still high, there is little and inconclusive literature that specifically analyzes the nexus between remittances, inequality and regional development.





Contribution of the Present Study

With these gaps in mind, the current study adds to the literature by using the ARDL bounds testing model with the latest data (1985-2024), a wider range of macroeconomic variables in a single econometric model, and placing the results of the empirical investigation in the context of socio-institutional integrity, described by Hossain (2025), Khan (2025), Rahman (2025).

Methodology

Methodological Framework

The following part is the entire section dedicated to the methodology we plan to employ to examine the effect of remittances on the economic development of Bangladesh. We have opted to go through a quantitative econometric methodology, which simply implies that we will resort to time-series analysis to delve into the volatile association between GDP per capita development and a number of macro variables such as remittances, investment, export development, foreign direct investment (FDI) and move of exchange rates. Such design is rather ubiquitous in economics since it allows us to measure and manipulate economic variables using powers of statistics and econometric software. We will be able to establish the nature and direction and strength of the relationship between these variables using the quantitative approach- just as that of other scholars such as Gujarati and Porter (2009). There is confusion and perplexity in the way economic growth can be spurred by a combination of structural and macro factors. The importance of money that flows in and especially remittances is paramount in determining the performance of most of developing economies. Despite the fact that the macroeconomic variables considered in the model, like investment, exports, foreign direct investment and exchange rate among others are considering, remittances are the main explanatory variable of interest in this study given that the study will specifically focus on demonstrating the influence of remittances on economic growth in the country of Bangladesh. The amount of household income in Bangladesh and the foreign exchange of migrant workers states a significant role. The remittance money is spent on consumption, saved, and invested which have the impact on the national growth.

Nevertheless, the remittances are not adequate. There are other macro variables that occupy significant positions among these and they include capital formation, international trade performance, FDI and exchange rate. It is because of that reason that we need a strong econometric model which will assist in determining the combined effect of these variables on development. That is why we will rely on the Autoregressive Distributed Lag (ARDL) framework, which is one of the tools of macro research. The ARDL model provides us with a dynamic perspective that approximates long-run equilibrium relations in addition to small fluctuations within the variables on the short term (Pesaran et al., 2001).

The important benefit of ARDL is its ability to incorporate variables that are integrated with different orders i.e. $I(0)$ and $I(1)$ but that is all with respect to $I(2)$. It is particularly appropriate to this time series data that we have in this macro study. Another addition to the ARDL model is the Error Correction Model (ECM), which informs us of the speed at which the short-term disequilibrium is contributed by the long term equilibrium. This allows us to decompose the short run permanent variation and bring out the long-run structural relationship between the variables. The macro data we are using in this analysis are 1985 to 2024 annual data on Bangladesh. With this timeframe, we are able to pick up long-run facts and transformation of the Bangladeshi economy.

Overall, our current approach to research is a systematic and high quality concentration of actions to examine determinants of growth and to determine the role of remittances in the macro performance of Bangladesh.

Research Strategy and Empirical Design

Our quantitative, explanatory, and correlational research method is grounded on secondary time-series data. The core of it is that it designs it ex- post facto, i.e., We are going to examine the past information instead of conducting controlled experiments (Creswell, 2014). The fact that we cannot just start switching a light on the economy has prompted me to use historical data to know how remittances, exports and exchange rates have interplayed over time. The explanatory component will enable me to ask the research question, which is what effects are these macro variables on GDP per capita growth. We seek statistical correlations of GDP per capita growth and the other variables. We will also compare these aspects with respect to growth and be able to use econometric tools in a correlational analysis. This method enables me to close on the change in the wobble of the growth in GDP per capita due to change in remittances, investment, exports, FDI, and exchange rates. Our design uses the time-series econometrics; it is the most effective in capturing the variables development and their interactions at various times (Stock and Watson, 2020). We are seeking to identify both long run equilibrium variables as well as short run variations within them.

Sampling Technique

The sampling method we will be doing is a basic census of what is available each year annually on the variables of interest which is typical in time-series econometric studies. The data we have includes 1985-2024, which includes 40 observations of each variable annually. The observations have the limitations of time-series work since





the macro data is released every year or quarterly. The ARDL method however is effective despite having a relatively small number of observations, thus it can be used in this annual macro data analysis (Pesaran et al., 2001). On the whole range that is available, our analysis will cover the entire historical development of the selected macro variables.

Data Sources and Variable Specification

The research is based solely upon secondary sources of data. All the data involved in the empirical analysis were taken in the World Bank database of World Development Indicators (WDI). The World Development Indicators give internationally comparable macroeconomic information on the countries of the world and are extensively applied in both policy and academic research. The database stores trustworthy information about the main indicators of the economy, including GDP, trade flows, investment, exchange rates and remittances (World Bank, 2024).

The dependent variable in the empirical analysis is an aspect that is measured with a combination of the explanatory variables to determine the factors of economic growth.

Dependent Variable

1. *GDP per capita (gdppcg)* : The dependent variable that is used in this research is the growth of GDP per capita (gdppcg) as the percentage growth rate of the GDP per capita per year. It is a common example of a variable that is utilized throughout the literature as the proxy of economic growth since it indicates the changes in the average level of income and the overall economic results (World Bank, 2023).

Independent Variables

The independent variables to be used to capture the major macroeconomic determinants of growth will be as follows:

1. *Remittances (lnrem)*: This is a measure of various personal remittance inflows that the country obtains. It is accumulated into its natural logarithmic form to eliminate skewness, to overcome the possibility of heteroscedasticity, and enable readers to interpret elasticity of the estimates of the coefficients (Gujarati and Porter, 2009).

2. *Investment (investmentg)*: The growth rate of gross capital formation is used as a proxy of investment, as an annual percentage change. This indicator reflects growth of physical capital as it is another major cause of economic growth in both neoclassical and endogenous model of growth.

3. *Exports (exportg)*: This variable is an annual growth of exports of goods and services. Export growth is incorporated in order to represent the contribution of external demand and trade openness in spurring economic activity and productivity in the economy.

4. *Foreign Direct Investment (lnfdi)*: This variable is the net inflows of foreign direct investment. It is converted to natural logarithmic form to stabilize variance and give the coefficients meaning as percentages as is customary in econometrics. FDI should result in an improvement of the growth in terms of technology transfer and capital accumulation.

5. *Exchange Rate (lnexchange)*: Exchange rate is considered to be a proxy variable of both external competitiveness and macroeconomic stability. To ensure proportional changes are captured and absorption of heteroscedasticity elements in the regression model the variable is transformed to take the natural logarithmic form.

The selected variables are transformed through logarithmic conversion to eliminate instability of variances that would otherwise lead to elasticity coefficients interpretation.

Econometric Estimation Strategy

This study uses the empirical analysis, which takes several sequential econometric steps.

Unit Root Test

The initial step entails carrying out the Augmented Dickey-Fuller (ADF) unit root test in order to test the stationarity properties of the variables. One of the properties of time-series data is stationarity that cannot be violated by no means due to the fact that variables that are not stationary can generate the incorrect results of the regression.

ADF test is often employed in the determination of the presence of unit root in a time-series variable (Dickey and Fuller, 1979). The overall structure of ADF test may be written as:

$$\Delta Y_t = \alpha + \beta Y_{t-1} + \sum \gamma_i \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t$$

Where Y_t represents time series variable and Δ denotes the 1st difference operator. The null hypothesis of this test (H_0) is that the variable has a unit root (it is not stationary), and the alternative hypothesis (H_1) is that the variable is stationary.

The test assists in identifying the sequence of incorporation of every variable, which is required prior to the application of ARDL modeling framework.





ARDL Bounds Testing Capital Approach

Upon identification of the stationarity property of the variables, the research utilizes the Autoregressive Distributed Lag (ARDL) model which was created by Pesaran, Shin and Smith (2001).

With ARDL model, it is possible to estimate short and long run relationships among the variables under a single equation model.

The overall specification of the ARDL applying in the present study may be formulated as:

$$gdppcg_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_{1i} gdppcg_{t-i} + \sum_{i=0}^q \beta_{2i} lnrem_{t-i} + \sum_{i=0}^q \beta_{3i} investment_{t-i} + \sum_{i=0}^q \beta_{4i} export_{t-i} + \sum_{i=0}^q \beta_{5i} lnfdi_{t-i} + \sum_{i=0}^q \beta_{6i} lnexchange_{t-i} + \epsilon_t$$

Following a dynamic lag selection process, the ARDL (1, 3, 0, 3, 0, 0) model was identified as the best-fitting specification. This configuration was specifically chosen to minimize information loss and satisfy all essential diagnostic requirements, ensuring the most reliable estimation of the long-run and short-run dynamics.

The following are the hypotheses tested to test the existence of a long-run relationship (cointegration) between the variables:

$$H_0: \lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = \lambda_5 = \lambda_6 = 0 \text{ (No Cointegration Exists)}$$

$$H_1: \lambda_i \neq 0 \text{ for at least one } i \text{ (Cointegration Exists)}$$

The ARDL model enables the inclusion of estimating the short-run dynamics as well as estimating the long-run equilibrium relationships (Pesaran et al., 2001).

Error Correction Model

In the case of a long-run relationship, ARDL model can be altered into an Error Correction Model (ECM).

The ECM models the process of adjusting between long-run equilibrium and short-run deviation.

The general ECM form is

$$\Delta gdppcg_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i \Delta gdppcg_{t-i} + \sum_{i=0}^q \beta_i \Delta X_{t-i} + \lambda ECT_{t-1} + \epsilon_t$$

ECT t -1 is the lagged error correction term derived from the long-run relationship. The null hypothesis is that $\lambda = 0$ (No Adjustments), while the alternative hypothesis is that λ is negative and statistically significant ($\lambda < 0$), indicating a return to equilibrium. The ECM model is a representation of the correction of short run adjustments of the long run economic equilibrium in the short run.

Reliability and Validity of the Model

We have subjected the model to a set of diagnostic tests to make sure that the econometric model which we are working on is sound and sound. First, we conduct Breusch-Godfrey test of serial correlation to establish the occurrence of autocorrelation of the residues. Second, we conduct Breusch-pagan test with the aim of seeking heteroskedasticity. Third, we perform Sktest to understand whether the values of the residual are normally distributed or not. Finally, the CUSUM test enables us to find out whether the model that we have estimated is structurally-stable across time. The following diagnostic tests may be applied to confirm the fact that the econometric model meets the requirements of the classical regression analysis and produces the valid statistical estimates (Gujarati and Porter, 2009).

Results and Discussion

It is in this chapter that we explore the real data we gathered and begin with a cursory glance at the numbers to a complete the econometric analysis. The ARDL model was used to unpack the relation between the economic growth and big macro drivers. The findings are divided into descriptive statistics, stationarity tests, cointegration analysis, and the long run and short run dynamics and finally conclude with what it alludes to the economy.

Descriptive Statistics

Table 4.1 presents the descriptive statistics of the variables used in the study for the period 1985-2024, comprising 40 annual observations.

Per-capita growth of GDP (gdppcg) is the main dependent variable. The average is 3.826 per cent over the sample, the minimum growth value was 0.261 and maximum 6.973. Therefore the general trend is positive but we are experiencing slow years. Export growth (exportg) is the least stable: it has an average of 10.741 percent with a massive standard deviation of 17.106. The swings range of a severe decrease of -17.502% to an overwhelming increase of 85.613. The volatility of such kind indicates that the economy is highly vulnerable of external demand and international shocks.





Table 4.1 Descriptive Statistics of the Variables (1985-2024)

Variable	Observations	Mean	Std. Dev.	Minimum	Maximum
Gdp pcg	40	3.826	1.756	0.261	6.973
Lnrem	40	22.124	1.309	20.035	24.041
Investmentg	40	7.630	2.705	1.532	12.133
Exportg	40	10.741	17.106	-17.502	85.613
Lnfdi	40	18.847	2.782	12.421	21.764
Lnexchange	40	4.049	0.385	3.332	4.750

Source: Author's Calculation

The capital formation which is determined by growth in investment (investmentg) has an average of 7.630 which is between 1.532 to 12.133. The logarithms of the data (remittances lnrem), FDI (Lnfdi) and the exchange rate (lnexchange) exhibit smaller spreads - the log of the exchange rate has a small standard deviation of 0.385 that is pointing towards managed stability or slow change of a currency over time.

Visual Inspection of Variable Trends

Following the descriptive summary, it is essential to observe the historical behavior of the variables. Figures 4.1 through 4.6 present the time-series plots for the dependent and independent variables.

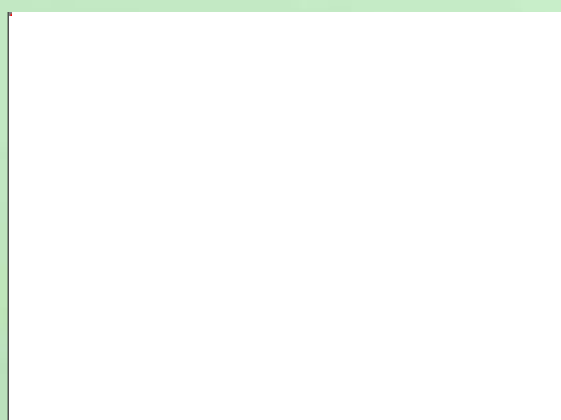


Fig-4.1: Tslne plots for Lnexchange



Fig-4.2: Tslne plots for Lnfdi



Fig-4.3: Tslne plots for exportg



Fig-4.4: Tslne plots for investmentg

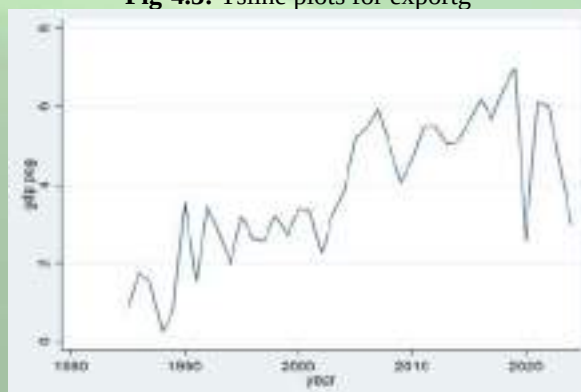


Fig-4.5: Tslne plots for lnrem

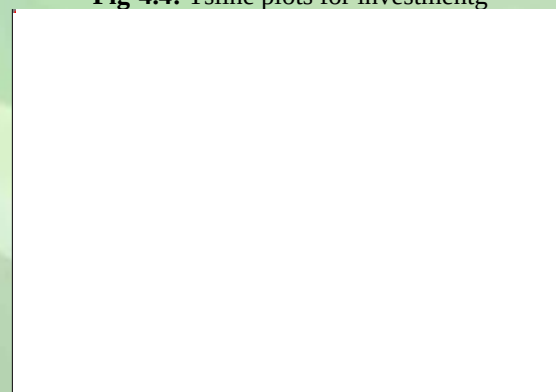


Fig-4.6: Tslne plots for gdp pcg





Graphical Investigation of Trends of Time-series

The graphical presentation of the variables between 1985 and 2024 provides a preliminary information on what the data entails prior to the actual econometric modelling.

1. **Growth and Volatility Patterns:** The per-capita GDP growth (gdppcg) plot affirms the overall positive trend although much fluctuation is evident with the sharp declines of the past few years. Likewise, the best level of instability is in the form of export growth (exportg), where step peaks, and declines occur, which corresponds with the large standard deviation indicated in the descriptive statistics.

2. **Trend Persistence:** The remittance (lnrem) and exchange rate (lnexchange) show this strong, persistent growth in the 40 years. The plots of these series do not seem to go back to a set mean, indicating that they have a stochastic trend and probably at the levels are not stationary.

3. **Investment and FDI Dynamics:** Investment growth (investmentg) exhibits a gradual but periodic trend, whereas Foreign Direct Investment (lnfdi) has a gradual increase with considerable changes in the later decades of the study.

4. **Implications to Cointegration:** A visual matching of a number of variables -so especially, the long-lasting upward trend of growth and remittances- gives it the first basis in justifying a potential co-integrating relationship. The following visual properties provide a sense of the necessity of using Augmented Dickey-Fuller (ADF) tests to ascertain a specific order of the efforts to integrate individual series.

Unit Root Test Results

To ensure that the regression results are not spurious, the stationary of the variables was examined using the Augmented Dickey-Fuller (ADF) Unit root test.

Table 4.2 ADF Unit Root Test Results

Variable	Level (P-value)	First Difference (P-value)	Results	Order
Gdppcg	0.2761	0.0000*	Stationary	I(1)
Lnrem	0.8996	0.0016*	Stationary	I(1)
Investmentg	0.0045*	---	Stationary	I(0)
Exportg	0.0008*	---	Stationary	I(0)
Lnfdi	0.6173	0.0000*	Stationary	I(1)
Lnexchange	0.9602	0.0003*	Stationary	I(1)

Source: Author's Calculation

The ADF tests reveals both the growth of investment (investmentg) and that of export (exportg) remain stationary in their levels (I(0)). p-values of their levels are 0.0045 and 0.0008, respectively, and we reject the pivot at both levels. Per-capita GDP growth (gdppcg), remittances (lnrem), FDI (lnfdi), and the exchange rate (lnexchange) do not stay stationary at their values, they become stationary following the first differentiation all with p-values less than 0.05. The result is a combination of I(0) and I(1) variables but none, I(2). This meets the ARDL bounds testing standard.

ARDL Bound Test for Cointegration

The ARDL Bounds Test was conducted to determine whether a long-run equilibrium relationship exists among the variables.

Table 4.3 ARDL Bound Test for Cointegration

Test Statistics	Value	Significance	I(0) Bound	I(1) Bound
F-statistic	10.772	1 %	4.358	6.414
T-statistic	-6.817	1 %	-3.633	-5.178

Source: Author's Calculation

We got an F-statistic of 10.772. On comparison with the 1 per cent critical values, the statistic is way above the upper limit of 6.414. Also, the t-statistic = -6.817 is further in the negative as compared to the 1% limits (-3.633 to -5.178). Since both of the metrics are beyond the critical upper limits, we can reject the null hypothesis of no cointegration. In this way, there is institutionalized, meaningful long-term connection between these variables.

Long-Run Estimates

Having established cointegration, we came up with the long-run coefficients to appreciate the way each independent variable contributes towards GDP growth.

Table 4.4 Long-run Coefficients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-statistic	P-value
Lnrem	2.0246	0.5763	3.51	0.002
Investmentg	0.1355	0.0555	2.44	0.022
Exportg	0.0750	0.0182	4.12	0.000
Lnfdi	0.1618	0.1309	1.24	0.228
Lnexchange	-4.5011	2.1741	-2.07	0.049

Source: Author's Calculation





The remittances are at the forefront, the coefficient of $\ln rem$ is 2.0246 which is significant at 1 percent ($P = 0.002$). Simply stated, a 1 percent increase in remittances will result to a robust 2.02 percent increase in the long-term growth of GDP. This transforms remittances to be one of the engines, driving domestic consumption and household investment.

The expansion of investment and export is also there. An increase in investment growth by one percent initiates GDP growth by approximately 0.1355 percent ($P = 0.022$). Again, an increase in the export growth by one percent initiates GDP growth by approximately 0.0750 percent ($P = 0.000$). This is part of the reason why capital formation and trade are some of the key long-term growth drivers.

The coefficient of FDI ($\ln fdi$) = 0.1618 which is not significant ($P = 0.228$). So FDI exists but fails in this situation to stimulate per-capita income growth in a predictable way- perhaps because of the lack of absorption capacity, or because of the type of foreign investment.

The impact of the exchange rate is massive in the negative. Its coefficient is -4.5011 ($P = 0.049$). Thus a depreciated currency reduces the growth in the long run drastically. In the economy where importation of capital goods, energy, or raw materials is highly depended on, a weak currency increases the cost of importation, stagnate business output, and damages performance in general.

Short-Run ARDL Estimates

So long-run estimates provide us with a panoramic view of where the economy is going to take in the long run and the short-run processes are everything to do with the gestures and procrastinations as the economy gets hit by some shock. Short-run we observe a complete host of ups and downs which are much more complicated than the long-run tendencies.

The coefficients on remittances are, thus, lagged drastically in the short-run. Although the first and second lags appear flat (P value (0.117 and 0.302)), the third lag throws the largest negative strike at -5.9401 and it is accompanied with the most significant p value $= .002$. Inherently, remittances are massive to long term growth, however, in short term you experience volatility or crowd-out effect. Equally, there is a consistent negative short run coefficient of all the lags of export growth which is -0.0462 ($P=0.009$), -0.0388 ($P=0.003$) and -0.0199 ($P=0.035$). This is used to emphasize the fact that short run changes in trade will be short-term contractionary responses followed by stabilizing in a positive long-run solution.

Table 4.5 Short-Run Coefficients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	P-value
$\Delta \ln rem(-1)$	-2.7124	1.6679	-1.63	0.117
$\Delta \ln rem(-2)$	-1.7693	1.6766	-1.06	0.302
$\Delta \ln rem(-3)$	-5.9401	1.6819	-3.53	0.002
$\Delta exportg(-1)$	-0.0462	0.0161	-2.86	0.009
$\Delta exportg(-2)$	-0.0388	0.0119	-3.26	0.003
$\Delta exportg(-3)$	-0.0199	0.0089	-2.24	0.035
constant	-28.2359	6.5481	- 4.31	0.000

Source: Author's Calculation

Evaluation of Model Fit

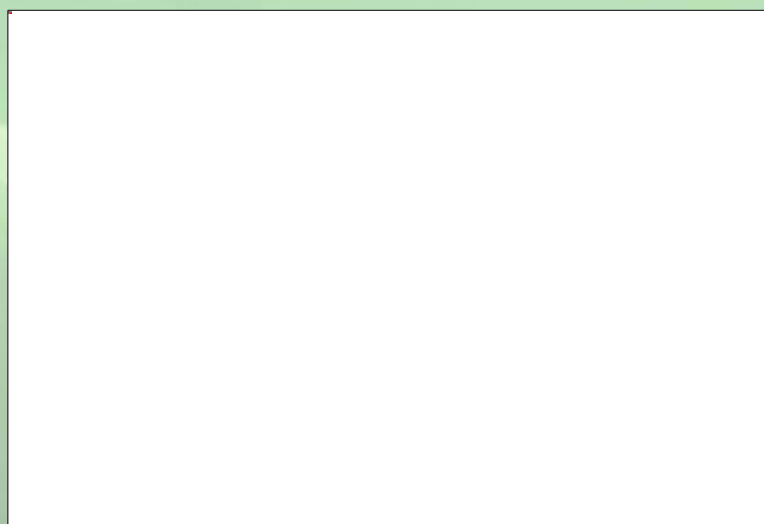


Fig-4.7: Gdppcg Actual vs. ARDL Fitted Values





To evaluate predictive performance of ARDL model fitted values are compared to the actual values of GDP per capita growth (gdppcg).

- *Historical Fit*: The fitted values tend to move in the general direction of the true growth path in general; nonetheless, there are apparent deviations throughout the sample period. Although the model reflects the overall trend within the series, the difference between the actual and fitted values points towards moderate fit but not a close fit or close to perfection.

- *Shock responsiveness*: The model is partially responsive to temporary fluctuations and turning points. The fitted series is comparatively more volatile than the actual series in some periods and in some other periods it is not as responsive especially when significant economic shocks occur where the difference between actual and predicted values become more dissimilar.

- *Reliability of Estimates*: It shows that the differences between actual and fitted values indicate that the model could be helpful in giving the overall information about the underlying long-run growth trend but overall goodness-of-fit is moderate. Thus, using the estimated coefficients, we can correctly interpret long-run relations but caution is required when using the coefficients in short-run predictions or, more specifically, accurate predictions.

Error Correction Model

The Error Correction Model (ECM) provides the transition between short run equilibrium and long run equilibrium. The key parameter is the Error Correction Term (ECT) which informs us of how the system self corrects itself upon a shock.

We have an ARDL model with the coefficient of the lagged error correction term, which is (-1.060), in our estimation. Importantly, it carries the negative value and its significance is significant ($p = 0.000$). The magnitude gives a very high rate of the adjustment process; in fact the ECT has a 106 percent correction of shocks/annually. It indicates that the economy is very resilient and returns faster-than-usual after having gone overshoot in the recovery.

Table 4.6 Error Correction Term

Variable	Coefficient	Std. Error	t-statistic	P-value
ECT(t-1)	-1.060	0.156	-6.82	0.000

Source: Author's Calculation

Diagnostic and Stability Test

To ensure that our ARDL model had credible inferences that were useful in policy, we included a set of harsh tests of diagnostics.

The model was able to go through all the standard diagnostic tests:

1. *Serial Correlation*: The Breusch -Godfrey test result was 1.911 with $p=0.167$. The p-value is more than 0.05 so we accept the null hypothesis of no autocorrelation in that our residuals are not correlated with each other.
2. *Heteroskedasticity*: The test of Heteroskedasticity Breusch-Pagan test showed that the variance of the residual is a constant (homoskedasticity) = 0.090 ($p = 0.766$) and this proves that our standard errors are reliable.
3. *Normality*: The Skewness/Kurtosis statistic (Sktest) is 1.020 ($p = 0.600$), which shows that terms of error are normally distributed.
4. *Multicollinearity*: The Variance Inflation Factor (VIF) was used to test those independent variables that were linearly dependent on each other. The mean VIF of the diagnostic was 10.38. Although this is slightly higher than the standard level of 10, high VIFs on the individual level of lnechange (41.63) and lnrem (41.32) are theoretically anticipated within the framework of exchange rate fluctuations and remittance inflows in Bangladesh. Being theoretically required by the ARDL specification, these variables are not dropped. The other predictors do not have a high VIF value which means that multicollinearity does not essentially corrupt the overall estimation of the model.

Table 4.7 Diagnostic Test Results

Test	statistic (P-value)	Conclusion
Serial Correlation	1.911 (0.167)	No autocorrelation
Heteroskedasticity	0.090 (0.766)	Homoskedastic
Normality	1.020 (0.600)	Residuals normal
Multicollinearity (VIF)	10.38(Mean VIF)	Acceptable (Mean VIF)
CUSUM	-----	Model stable

Source: Author's Calculation

Stability and Residual Analysis

The side-by-side presentation of the CUSUM and Residual plots provides a comprehensive visual validation of the ARDL model's reliability.





1. **Parameter Stability (CUSUM):** The CUSUM plot confirms that the model's coefficients are stable over the 40-year period. As the recursive residuals remain within the 5% critical boundaries, there is no evidence of structural breaks in the long-run or short-run relationships.

2. **Error Randomness (Residuals):** The residuals plot serves as a visual diagnostic for the model's error terms. The residuals fluctuate randomly around the zero-mean line with no discernible patterns, confirming that the model has captured all systematic movements in the data.

3. **Validation of Statistical Tests:** Together, these visuals support the formal diagnostic results reported in Table 4.7. The stable parameters and "white noise" residuals verify that the standard errors are not biased and that the p-values for key variables—such as remittances and the exchange rate—are statistically sound.

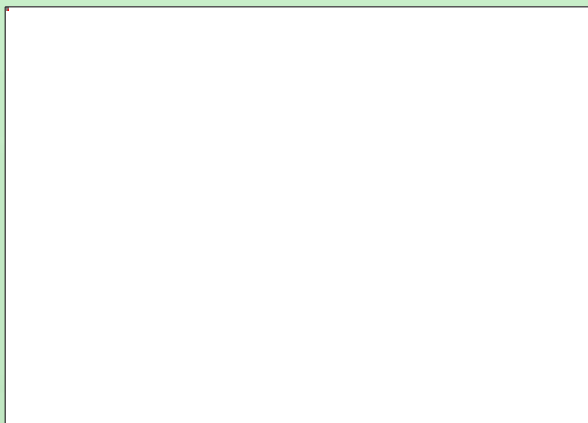


Fig-4.8: CUSUM plot of D.gdppecg

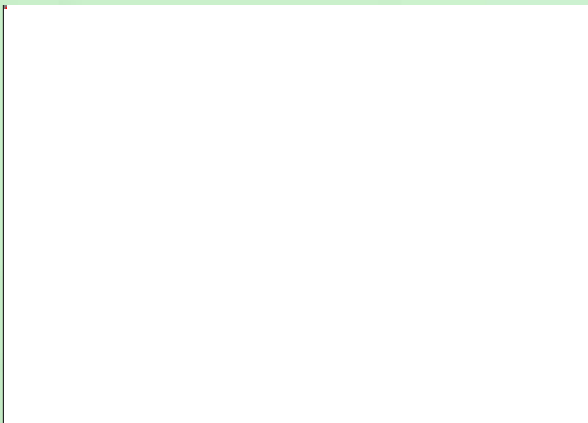


Fig-4.9: Residuals

Conclusion

In the current research, we would like to critically analyze the economic importance of remittances of the migrant workers to the national development of Bangladesh between 1985 and 2024. As Bangladesh nears the exit of Least Developed Country (LDC) status in 2026, macroeconomic stability drivers have never been as important as analyzing them now. It was aimed at tracing the effects of remittances and other important variables on the growth of GDP per capita; investment, increase of exports, foreign direct investment (FDI) and exchange rates.

In the case of the research design, we decided to use a correlational and explanatory research design using secondary time-series data. In analysis of this 40 year data we have used the Autoregressive Distributed Lag (ARDL) Bounds Testing model. The econometric tool is suitable with variables of mixed integration behavior—some of them have their levels, I(1) and others have been integrated by first differencing, which is characteristic of the macroeconomic indicators in the developing nations. Our pre-test activity was Augmented Dickey-Fuller (ADF) test to verify that there are no variables of order I(2) and would invalidate the ARDL method.

The empirical findings were supportive of a good long-run equilibrium of the variables. Descriptive statistics indicate that the average rate of GDP per capita has increased by 3.83 per cent throughout this period, whereas remittance inflows were a very stable and predictable source of external funds. The ARDL Bounds Test resulted in an F value of 10.772 which is way above the critical value of the significant level, which is 1 percent. Interestingly, the remittances became the best force in the economy with a long-run value of 2.0246. It implies that the growth in the GDP per capita is responsive to such an increase in 2.02% year per 1 percent rise in remittance inflows in the long run. The impact on the exchange rate was negative and that of investment and exports was minor and positive while FDI played an insignificant part on growth.

References

- Afrouse, F., & Rahman, R. (2025). Exploring the remittance and economic growth nexus in Bangladesh. *Government Ashek Mahmud College Journal*, 1(1), 1–27.
- Akter, S., Hasan, S. B., Akter, R., & Jui, J. R. (2024). How do net exports and remittances impact on economic growth in Bangladesh? Insight from ARDL time series model. *Saudi Journal of Economics and Finance*, 8(8), 274–283.
- Al Mamun, M., & Kabir, I. (2022). The remittance, foreign direct investment, export, and economic growth in Bangladesh: A time series analysis, East West University.
- Azizi, S. (2021). The impacts of workers' remittances on poverty and inequality in developing countries. *Empirical Economics*, 60, 969–991.
- Chowdhury, M. B., & Rabbi, F. (2014). Workers' remittances and Dutch Disease in Bangladesh. *The Journal of International Trade & Economic Development*, 23(4), 455–475.
- Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4th ed.). Sage.
- Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1979). Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366), 427–431.





- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2009). Basic econometrics (5th ed.). McGraw-Hill.
- Hossain, S. (2025). Women's higher education in Alia Madrasah of Bangladesh: An exploration into family challenges. *Government Ashek Mahmud College Journal*, 1(1), 28–51.
- Islam, M. S. (2020). An econometric analysis on remittance and economic growth in Bangladesh. *International Journal of Economics and Financial Research*, 6(10), 214–218.
- Khan, M. A. (2025). The Directorate of Secondary and Higher Education (DSHE) in Bangladesh: A comprehensive analysis of its evolution, functions, and enduring challenges. *Government Ashek Mahmud College Journal*, 1(1), 103–120.
- Majumder, S. C., & Donghui, Z. (2016). Relationship between remittance and economic growth in Bangladesh: An autoregressive distributed lag model (ARDL). *European Researcher. Series A*, 104(3), 156–167.
- Meyer, D., & Shera, A. (2017). The impact of remittances on economic growth: An econometric model. *Economia*, 18(2), 147–155.
- Miah, M. N., & Bhattacharjee, P. (2024). Cash incentive on remittance inflow and its impact on economic growth in Bangladesh. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 9(8), 1260.
- Paul, B. P., Uddin, M. G. S., & Noman, A. M. (2011). Remittances and output in Bangladesh: An ARDL bounds testing approach to cointegration. *International Review of Economics*, 58, 229–242.
- Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16(3), 289–326.
- Rahman, M. L. (2025). Teachers' perspectives on assessing self-directed learning behaviour of EFL learners. *Government Ashek Mahmud College Journal*, 1(1), 52–73.
- Shirin, S. (2025). Female writers in the context of novel practice in Bangladesh: From inception to the post-independence period. *Government Ashek Mahmud College Journal*, 1(1), 74–88.
- Stock, J. H., & Watson, M. W. (2020). Introduction to econometrics (4th ed.). Pearson.
- World Bank. (n.d.). Exports of goods and services (annual % growth) – Bangladesh Retrieved March 25, 2026, from <https://data.worldbank.org/indicator/NE.EXP.GNFS.KD.ZG?locations=BD>
- World Bank. (n.d.). Foreign direct investment, net inflows (BoP, current US\$) – Bangladesh. Retrieved March 25, 2026, from <https://data.worldbank.org/indicator/BX.KLT.DINV.CD.WD?locations=BD>
- World Bank. (n.d.). GDP per capita growth (annual %) – Bangladesh. Retrieved March 25, 2026, from <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.KD.ZG?locations=BD>
- World Bank. (n.d.). Gross capital formation (annual % growth) – Bangladesh. Retrieved March 25, 2026, from <https://data.worldbank.org/indicator/NE.GDI.FTOT.KD.ZG?locations=BD>
- World Bank. (n.d.). Official exchange rate (LCU per US\$, period average) – Bangladesh. Retrieved March 25, 2026, from <https://data.worldbank.org/indicator/PA.NUS.FCRF?locations=BD>
- World Bank. (n.d.). Personal remittances, received (current US\$) – Bangladesh. Retrieved March 25, 2026, from <https://data.worldbank.org/indicator/BX.TRF.PWKR.CD.DT?locations=BD>
- Hossain, M. A., Selim, S., Hasan, M. R., Tusher, A. H., Ahmad, B., & Monir, M. (2025). Remittances and regional cooperation: Economic impacts and national interests in central asia. In *Handbook of Migration, International Relations and Security in Asia* (pp. 1-22). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Sen, N., Md. Rofiqul Islam, Selim, S., Md. Rakibul Hasan, Md. Anowar Hossain, & Ahmad, B. (2025). Climate Change, Security, and Migration in Central Asia: Vulnerabilities and Strategic Responses. In *Handbook of Migration, International Relations and Security in Asia* (pp. 1-23). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Ahmad, B. (2024). Socio-Economic Impact of Rice Mill Industry in the Selected Areas of Dinajpur District. *7th International Anatolian Agriculture, Food, Environment and Biology Congress, Kastamonu/Türkiye*, 134–145. from <http://www.targid.net/index.php/TURSTEP/article/view/382>
- Uddin, M. M., Khan, M. S., Ara, J., Khan, M. M. I., Islam, M. T., & Ahmad, B. (2026). Environmental accounting and reporting practices for sustainable wellbeing: Evidence from the textile industry of Bangladesh. *International Research Journal of Multidisciplinary Scope*, 7(1), 1314–1326. <https://doi.org/10.47857/irjms.2026.v07i01.08337>
- Begum, H., Rahman, M. M., Haque, M. S., & Ahmad, B. (2026). CSR exposures of Bangladesh Small and Cottage Industries Corporation enlisted firms during COVID-19. *International Journal of Business Governance and Ethics*, 20(3-4), 407–428.





Extrusion Technologies in Chips and Snack Production and the Effective Role of Blends in the Use of Cereals and Legumes

Cem Baltacıoğlu¹, Mustafa Hafez ^{2*}

¹ Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, 51200, Niğde, Turkey.

² Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Engineering, Department of food engineering, 51200, Niğde, Turkey.

Abstract

This study examines the role of thermal extrusion technology in the production of chips and snacks, and the use of cereal and legume blends as an approach to improving nutritional value and functional properties. This technology relies on thermomechanical processing under high temperature and pressure to mix, cook, and shape ready-to-eat products with a crispy texture. In this work, recent studies on the use of cereals and legumes were reviewed and evaluated, along with innovative applications such as the use of oil industry by-products and carbon dioxide-assisted extrusion. The findings indicate that extrusion modifies starch properties, increases expansion, and enhances crispness, while also reducing antinutritional compounds such as phytic acid and tannins, thereby improving mineral bioavailability. The incorporation of legumes with cereals increased protein, dietary fiber, and mineral content without negatively affecting sensory acceptability. In addition, the use of by-products and modern techniques improved structural properties and reduced the need for chemical additives. It was also found that controlling processing parameters such as temperature, moisture, and screw speed plays a crucial role in determining the final product quality in terms of texture, density, and sensory characteristics. Overall, these findings confirm that extrusion technology represents an effective approach for developing healthy and sustainable snack products, and that the use of cereal–legume mixtures offers promising potential to enhance nutritional value and meet modern consumer demands.

Keywords: *Snack production, legumes, extrusion technology, functional foods, food processing, cereals.*

Cips ve Atıştırmalık Üretiminde Ekstrüzyon Teknolojileri ve Tahıl ile Baklagillerin Kullanımında Karışımların Etkin Rolü

Özet

Bu çalışma, cips ve atıştırmalık üretiminde termal ekstrüzyon teknolojisinin rolünü, besin değerini ve fonksiyonel özellikleri iyileştirmeye yönelik bir yaklaşım olarak tahıl ve baklagil karışımlarının kullanımını incelemektedir. Bu teknoloji, yüksek sıcaklık ve basınç altında gerçekleştirilen termomekanik işlemlerle karıştırma, pişirme ve şekillendirme aşamalarını bir araya getirerek gevrek yapıya sahip tüketime hazır ürünler elde edilmesini sağlar. Bu çalışmada, tahıl ve baklagillerin kullanımına ilişkin güncel araştırmalar değerlendirilmiş, ayrıca yağ endüstrisi yan ürünlerinin kullanımı ve karbondioksit destekli ekstrüzyon gibi yenilikçi uygulamalar incelenmiştir. Bulgular, ekstrüzyon işleminin nişasta özelliklerini değiştirdiğini, genleşmeyi artırdığını ve gevrekliği iyileştirdiğini göstermektedir. Ayrıca fitik asit ve tanenler gibi antinutrisyonel bileşiklerin azalmasıyla minerallerin biyoyararlanımı artmıştır. Baklagillerin tahıllarla birlikte kullanımı, protein, diyet lifi ve mineral içeriğini artırırken duyuşal kabul edilebilirlik üzerinde olumsuz bir etki oluşturmamıştır. Bunun yanı sıra, yan ürünlerin ve modern tekniklerin kullanımı ürünün yapısal özelliklerini iyileştirmiş ve kimyasal katkı maddelerine olan ihtiyacı azaltmıştır. Ayrıca sıcaklık, nem ve vida hızı gibi proses parametrelerinin kontrolünün, ürünün doku, yoğunluk ve duyuşal özellikleri açısından nihai kalite üzerinde belirleyici olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, ekstrüzyon teknolojisi sağlıklı ve sürdürülebilir atıştırmalık ürünlerin geliştirilmesinde etkili bir yöntem olup, tahıl ve baklagil karışımlarının kullanımı, besin değerini artırmak ve tüketici taleplerini karşılamak açısından önemli bir potansiyele sahiptir.

Anahtar Kelimeler: *Atıştırmalık üretimi, baklagiller, ekstrüzyon teknolojisi, fonksiyonel gıdalar, gıda işleme, tahıllar.*





Giriş

Cips, genellikle tüketime hazır atıştırmalık bir gıda olup; patates, tahıllar, baklagiller, sebzeler veya bunların kombinasyonlarından üretilmektedir. Üretim yöntemleri kızartma, fırınlama veya ekstrüzyon (extrusion) teknikleri arasında değişiklik göstermektedir. Ekstrüzyon prosesinde, hammadde belirli bir basınç ve sıcaklık altında yoğrularak ve termal işlemden geçirilerek farklı şekillerde (ince dilimler, çubuklar veya şişirilmiş granüller gibi) gevrek ürünlere dönüştürülmektedir. Bu ürünler kolay tüketilebilir olmalarıyla öne çıkmakta ve geleneksel cipslere kıyasla nispeten daha besleyici hızlı atıştırmalık seçeneklerine olan talebi karşılamayı hedeflemektedir.

Ekstrüzyon (Extrusion) Tanımı

Ekstrüzyon, gıda bileşenlerinin yüksek sıcaklık ve basınç altında karıştırılması, pişirilmesi ve şekillendirilmesi prensibine dayanan çok aşamalı termomekanik bir işlemdir. Bu teknik, işlenmiş çeşitli gıda ürünlerinin üretiminde kullanılmakta olup, bileşenlerin fonksiyonel özelliklerini değiştirme ve dokusal özelliklerini iyileştirme imkânı sunmaktadır. Ekstrüzyonun avantajları arasında nişastanın jelatinizasyonu, antinutrisyonel faktörlerin azaltılması, çözünür lif içeriğinin artırılması, yağ oksidasyonunun ve mikrobiyal yükün azaltılması ile bazı besin öğelerinin korunması yer almaktadır. Bununla birlikte, ısıya duyarlı vitaminlerde kayıplar ve protein kalitesini etkileyebilen Maillard reaksiyonlarının oluşması gibi sınırlamalar da bulunmaktadır. Bu nedenle nem, sıcaklık ve bekleme süresi gibi ekstrüzyon parametrelerinin hassas kontrolü, dengeli ve yüksek kaliteli gıda ürünlerinin elde edilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Son yıllarda gıda endüstrisindeki eğilim, daha sağlıklı ve besin değeri artırılmış cips ürünlerinin geliştirilmesi yönündedir. Ekstrüzyon teknolojisi, yüksek verimlilik ve hızlı üretim imkânı sunan ileri düzey bir termo-mekanik yöntem olup; kepek ve buğday tohumu gibi yan ürünlerin besin değerinin artırılarak değerlendirilmesine de olanak sağlamaktadır (Dendegh ve ark., 2023).

Ekstrüzyon Teknolojisi Kullanılarak Üretilen Yeni Nesil Cips ve Atıştırmalık Türleri

Tahıllar

Ekstrüzyonla üretilen atıştırmalıklarda en yaygın kullanılan tahıllar mısır, buğday, pirinç, yulaf, arpa, çavdar, tritikale ve sorgum gibi klasik tahıllardır. Ayrıca karabuğday, amarant, kinoa ve chia gibi yalancı tahıllar da yaygın olarak kullanılmaktadır (Mironeasa ve ark., 2023).

Baklagiller

Soya fasulyesi, nohut, kuru fasulye, börülce, bezelye ve mercimek gibi baklagiller ekstrüde atıştırmalık üretiminde önemli hammaddeler arasında yer almaktadır (Mironeasa ve ark., 2023).

Yağlı Tohumlar

Keten tohumu, yer fıstığı, kabak çekirdeği, susam ve diğer yağlı tohumlar bu gruba dahildir.

Gıda Endüstrisi Yan Ürünleri

Elma, kiraz ve ananas gibi meyve işleme yan ürünlerinin yanı sıra peynir altı suyu (whey), bira üretiminden elde edilen arpa posası, kırık pirinç, mısır kepeği, buğday kepeği, arpa kepeği ve yulaf kepeği gibi gıda endüstrisi artıklarının değerlendirilmesi ekstrüzyon teknolojisi ile mümkün olmaktadır (Grasso, 2020).

Ekstrüzyon Parametrelerinin Cips Ürünlerinin Kalitesi ve Makine Performansı Üzerindeki Etkisi

Sıcaklık

Ekstrüzyon sırasında sıcaklığın artması nişastanın jelatinizasyonunu hızlandırmakta ve Maillard reaksiyonu gibi kimyasal reaksiyonları teşvik etmektedir. Ayrıca eriyik viskozitesini düşürerek akışı kolaylaştırmakta ve ürünün genleşmesini artırarak daha gevrek bir yapı oluşmasına katkı sağlamaktadır.

Nem

Nem, ekstrüder içerisindeki sürtünmeyi azaltmada önemli bir rol oynamaktadır. Nem oranının artması, materyalin elastikiyetini artırarak kalıp basıncını ve torku düşürmektedir. Ancak yüksek nem seviyeleri ürünün genleşme kapasitesini azaltabilmektedir.

Vida Hızı

Vida hızının artırılması, silindir içerisindeki kesme ve sürtünme oranını yükselterek mekanik enerjiyi ve sıcaklığı artırmaktadır. Bu durum viskozitenin azalmasına ve doku özelliklerinin iyileşmesine katkı sağlarken, aşırı hız ürün yapısını olumsuz etkileyebilmektedir.



Besleme Oranı

Besleme oranının artması, ekstrüder içerisindeki malzeme yoğunluğunu artırarak sürtünmeyi ve buna bağlı olarak basınç ve sıcaklığı yükseltmektedir. Bu durum nihai ürün özelliklerini doğrudan etkilemektedir.

Kalıp Basıncı ve Tork

Kalıp basıncı ve tork, sistem içerisindeki akış direncini ifade etmektedir. Viskozite arttıkça bu değerler yükselmekte, sıcaklık veya nem arttığında ise azalmaktadır. Yağ içeriği ise yağlayıcı etkisi sayesinde bu değerleri düşürmektedir.

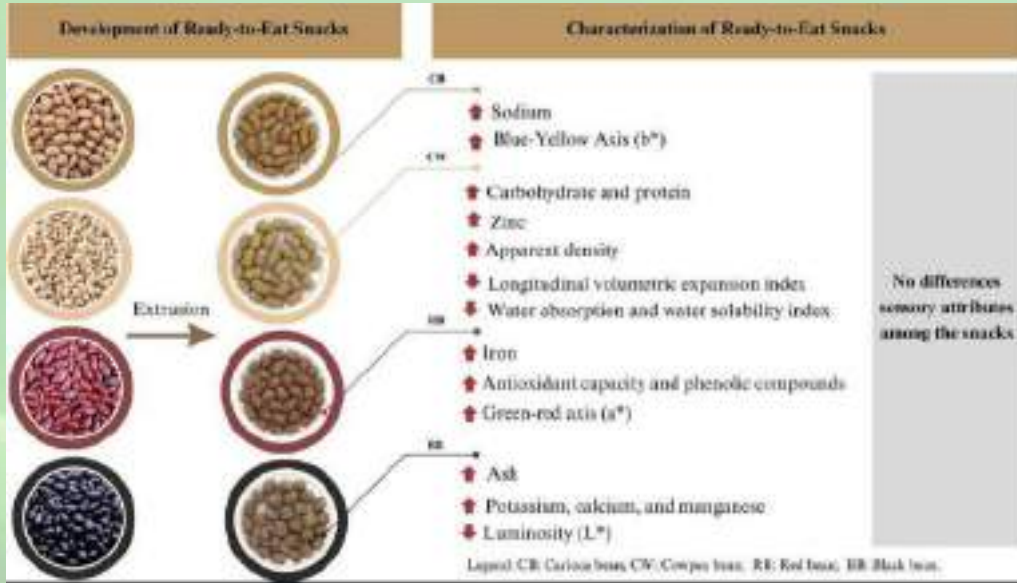
Özgül Mekanik Enerji (SME)

Ekstrüzyon sırasında maddeye aktarılan enerji miktarını ifade eder. Vida hızının artması ve nem oranının azalmasıyla SME değeri yükselir; bu durum nişasta granüllerinin parçalanmasını ve ürünün genleşmesini artırır. Buna karşılık, nem oranının yükselmesi sürtünmeyi azalttığı için SME değeri düşer (Dalbhagat ve ark., 2019).

Ekstrüzyon Teknolojilerinde Yeni Nesil Atıştırmalık Üretimine Yönelik Güncel Çalışmalar

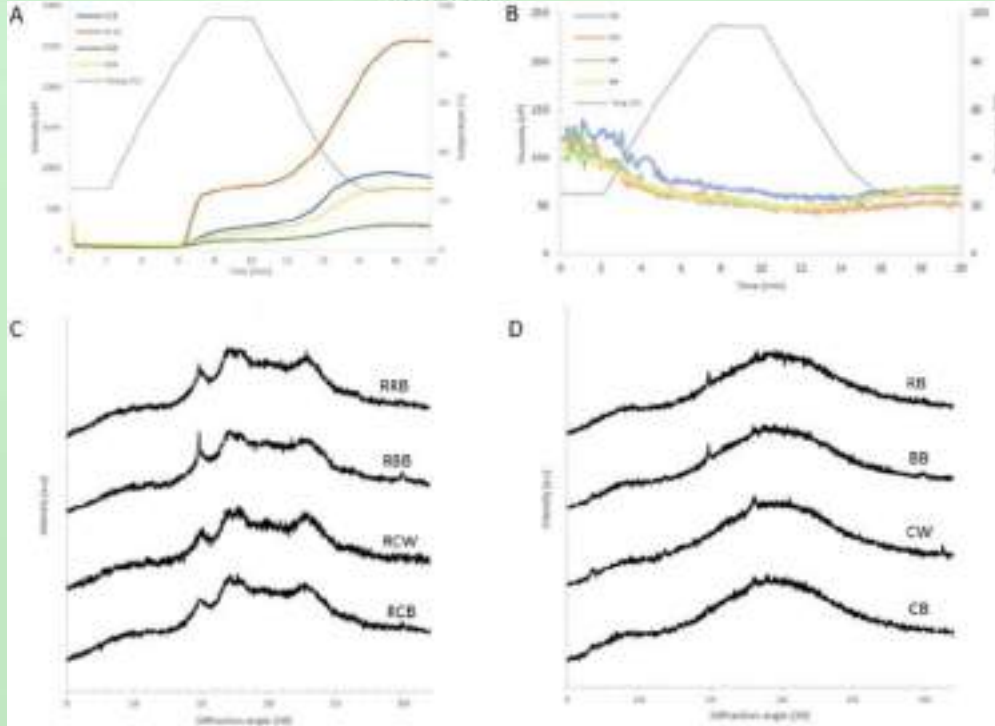
Baklagil Karışımlarının Ekstrüzyon Teknolojisi ile Cips ve Atıştırmalık Üretiminde Kullanımı

Son zamanlarda yapılan bir çalışma, baklagillerin termal ekstrüzyon teknolojisi kullanılarak sağlıklı cips ürünlerinin geliştirilmesinde büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada dört farklı fasulye türünden (siyah fasulye, kırmızı fasulye, karioça fasulyesi ve börülce) atıştırmalık ürünler üretilmiştir. Sonuçlar, ekstrüzyon işleminin nişasta özelliklerini değiştirdiğini ve viskoziteyi azalttığını ortaya koymuştur. Bu durum, ürünün dokusunu iyileştirerek daha gevrek bir atıştırmalık yapısı oluşturmuştur. Ayrıca bu teknik, fitik asit ve tanenler gibi anti-besinsel bileşiklerin azaltılmasına katkı sağlayarak mineral biyoyararlanımını artırmıştır. Besin değeri açısından ürünler iyi düzeyde protein ve mineral içeriği göstermiştir. Özellikle börülce bazlı ürün yüksek protein kaynağı olarak öne çıkmıştır. Duyusal kalite açısından ise farklı örnekler arasında tat ve kabul edilebilirlik bakımından önemli bir fark gözlenmemiş, tüm ürünler ortalamanın üzerinde satın alma niyeti göstermiştir. Bu bulgular, ekstrüzyon teknolojisinin hem yüksek besin değerine hem de iyi duyusal kabul edilebilirliğe sahip yeni nesil cips türlerinin geliştirilmesinde etkili bir araç olduğunu göstermektedir ve fonksiyonel gıda pazarında kullanım potansiyelini artırmaktadır (Pena ve ark., 2025).



Şekil 1. Ekstrüzyon teknolojisi ile tüketime hazır çerezlerin geliştirilmesi ve karakterizasyonu





Şekil 2. Farklı fasulye ezmesi türlerinin farklı viskozite (macunlaşma) özellikleri

Molla ve ark. (2025) tarafından yapılan bir çalışmada, mercimekten ekstrüzyon teknolojisi kullanılarak cips üretimi gerçekleştirilmiş ve bu süreçte tek vidalı ekstrüder (Single-Screw Extruder) kullanılmıştır. Isıl ekstrüzyon teknolojisi kapsamında bu cihaz, hammadde karışımını nihai ve gevrek bir ürüne dönüştürmede kritik bir rol oynamaktadır. Bu dönüşüm, silindir içerisinde uygulanan ısı, basınç ve kesme kuvvetleri sayesinde gerçekleşmektedir. Çalışma sonuçları, ekstrüder performansının büyük ölçüde işletme parametrelerinin doğru ayarlanmasına bağlı olduğunu göstermiştir. Optimum koşullar; düşük besleme nemi (%1), ekstrüzyon sıcaklığı (115 ± 5 °C), 2–3 saat arasında değişen kondisyonlama süresi ve 4.12 kg/saat besleme hızı olarak belirlenmiştir. Bu koşullar altında yaklaşık 4 kg/saat (yaklaşık 8000 paket/saat) düzeyinde yüksek üretim verimliliği elde edilmiştir. Tek vidalı ekstrüder, bileşenlerin karıştırılması, kısmi pişirilmesi ve kalıptan çıkış sırasında şekillendirilmesi işlevlerini yerine getirmektedir. Uygun sıcaklıklarda hamurun viskozitesinin azalması, gaz kabarcığı oluşumunu artırarak ürünün genişlemesini ve istenen gevrek dokunun oluşmasını sağlamaktadır. Buna karşılık, nem oranı ve ekstrüzyon sıcaklığı gibi işlem parametrelerinin kontrolü ürün kalitesi açısından kritik öneme sahiptir. Uygun olmayan nem seviyeleri, vida tıkanması ve silindir içinde sıcaklığın 145 °C'nin üzerine çıkması gibi operasyonel problemlere yol açmış; bu durum ürünün yanmasına ve üretim veriminin düşerek yaklaşık 130 paket/kg seviyesine gerilemesine neden olmuştur (Bozdogan ve ark., 2025).

Ayrıca, ekstrüder sistemi kullanılarak cipslerin vitamin ve mineral ile zenginleştirilmesi veya havuç ve kabak gibi doğal kaynakların hamur içine homojen şekilde katılması da mümkün olmuştur. Doğal kaynaklarla yapılan zenginleştirme, özellikle havuç ve kabak karışımı, sentetik takviyelere kıyasla daha iyi besin içeriği ve biyoaktif bileşik profili göstermiştir. Sonuçlar, tek vidalı ekstrüderin yağda kızartılmamış sağlıklı cips üretimi için ekonomik ve etkili bir seçenek olduğunu; ürünün fiziksel ve besinsel özelliklerinin kontrolünde yüksek esneklik sağladığını ve bu nedenle yenilikçi gıda ürünlerinin geliştirilmesinde temel bir teknoloji olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır.

Yağ Endüstrisi Yan Ürünlerinin Kullanımı ve Süperkritik CO₂ ile Ekstrüzyon Yoluyla Cips ve Atıştırmalık Üretimi

Bu çalışma, yağ üretim endüstrisinden elde edilen **pres keki (press cake)** yan ürünlerinin; kenevir, kamelya (Camelina), fındık ve kabak çekirdeği gibi yağlı tohumlardan elde edilen artıkların, doğrudan (2G) ve dolaylı (3G) ekstrüde atıştırmalıkların besin değerini artırmadaki potansiyelini ortaya koymuştur.

Bu hammaddelerin kullanımı, ürünlerin diyet lif içeriğini ve fenolik bileşik miktarını önemli ölçüde artırmış, aynı zamanda antioksidan aktiviteyi yükseltmiştir. Buna rağmen gıda güvenliği açısından olumsuz bir etki gözlenmemiş; akrilamid içeriğinin oldukça düşük seviyelerde kaldığı ve HMF (hidroksimetilfurfural) değerlerinin güvenli sınırlar içinde olduğu belirlenmiştir.

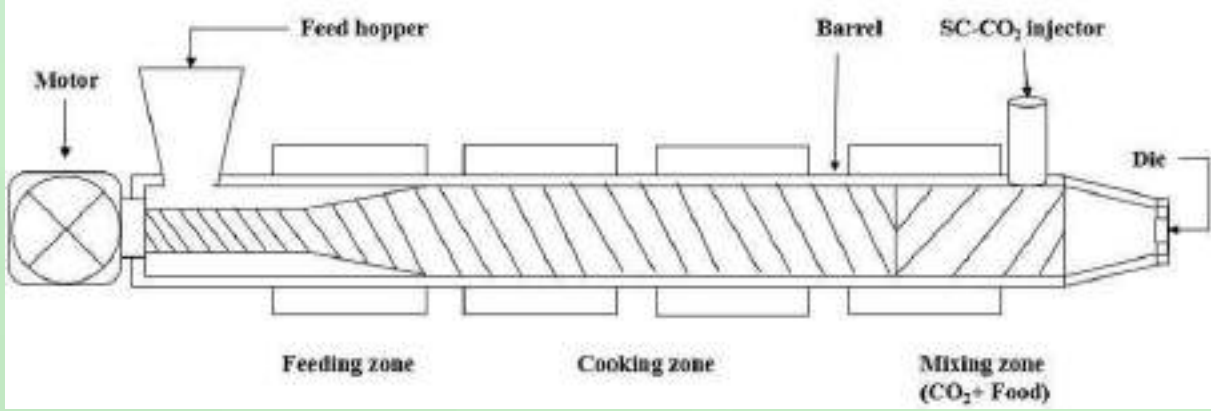
Ayrıca dolaylı ekstrüzyon (3G) ürünlerinde süperkritik CO₂ teknolojisi kullanılmıştır. Bu teknoloji, kimyasal katkı maddelerine ihtiyaç duyulmadan ürünün genişlemesini ve doku özelliklerini iyileştirmiş, böylece daha iyi bir





gevreklik ve yapı elde edilmesini sağlamıştır. Bu durum, yağ endüstrisi yan ürünlerinden çevre dostu, sağlıklı ve güvenli atıştırmalıkların üretilebileceğini göstermektedir.

Çalışma ayrıca bazı formülasyonların, özellikle mısır/findık (94:6) ve mısır/kenevir (91:9) karışımlarının endüstriyel uygulama açısından yüksek potansiyele sahip olduğunu ortaya koymuştur. (Jozinović ve ark., 2024)



Şekil 3. Karbondioksit (CO₂) gazı enjeksiyonuna dayalı ekstrüzyon sistemi

Tahıllar ve Baklagillerde Ekstrüzyon Teknolojisi ve Faydaları

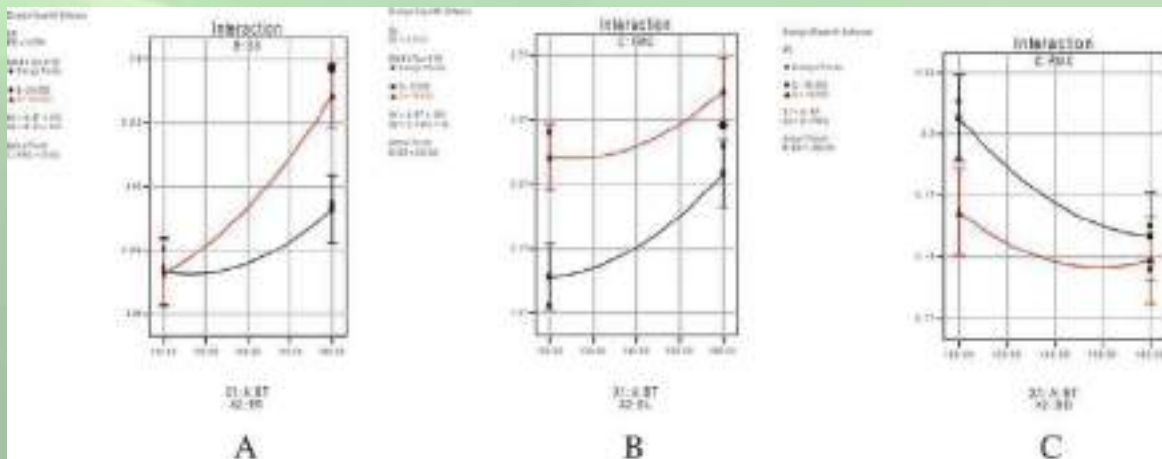
Mahmoud Al-Hassan ve ark. (2023) tarafından yapılan bir çalışmada, termal ekstrüzyon teknolojisi kullanılarak mısır irmiği ile yulaf unu ve bezelye karıştırılarak atıştırmalık kalitesinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada dört farklı formülasyon test edilmiştir: kontrol grubu (%100 mısır) ve T1 (%90 mısır + %5 yulaf + %5 bezelye), T2 (%85 mısır + %10 yulaf + %5 bezelye) ve T3 (%80 mısır + %15 yulaf + %5 bezelye).

Sonuçlar, yulaf ve bezelye oranının artmasıyla özellikle T3 formülünde, protein, lif ve indirgen şeker içeriğinin arttığını, buna karşılık nişasta oranının azaldığını göstermiştir. Yağ oranında ise anlamlı bir değişiklik gözlenmemiştir. Ekstrüzyon cihazı, nem oranını yarıdan fazla azaltarak ürünün dokusunu iyileştirmiş, genleşmeyi artırmış ve hacim yoğunluğunu düşürmüştür. Bu durum, daha düşük maliyetli, yüksek besin değerine sahip ve özellikle çocuklar ve hamileler gibi hassas gruplar için uygun atıştırmalıkların üretilmesini sağlamıştır.

Ayrıca Agarwal & Chauhan (2019), ekstrüzyon işleminin çok yönlü kullanımı, yüksek üretim kapasitesi ve düşük maliyet gibi önemli avantajlara sahip olduğunu belirtmiştir. Bunun yanında bu prosesin farklı ürün formlarının üretimine imkan tanıdığı, istenmeyen enzimleri inaktive ettiği, anti-besinsel faktörleri azalttığı ve nihai ürünü sterilize ettiği ifade edilmiştir.

Bir başka çalışmada, nohut, beyaz fasulye, mısır ve darıdan oluşan tahıl ve baklagil karışımlarında ekstrüzyon parametrelerinin atıştırmalık kalitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Optimum üretim koşulları; 120 °C silindir sıcaklığı, 340 rpm vida hızı ve %15 nem içeriği olarak belirlenmiştir. Bu koşullar altında en yüksek su absorpsiyon indeksi (6.02 g/g) ve en düşük kırılma kuvveti (16 N) elde edilmiştir; bu da daha gevrek bir yapı oluştuğunu göstermektedir. Vida hızının 200'den 340 rpm'ye artırılması, kütle akış hızını 19.84 g/s'den 33.82 g/s'ye yükseltmiştir. Duyusal analizlerde ürün; renk (8.22), gevreklik (8.44), aroma (8.33) ve genel kabul edilebilirlik (8.33) açısından yüksek puanlar almıştır. Ayrıca ürünün protein içeriği yaklaşık %16–18 olarak belirlenmiştir.

Bu bulgular, ekstrüzyon sürecinde sıcaklık, nem ve vida hızının dikkatli kontrol edilmesinin; cipslerin doku, besin değeri ve duyusal kabulü üzerinde kritik bir rol oynadığını göstermektedir. (Alemayehu ve ark., 2019)



Şekil 4. (a) Genleşme oranları, (b) özgül uzunluk ve (c) yığın yoğunluğunun tepki yüzeyi etkileşim grafiği.





Sonuçlar

Güncel çalışmalar, ekstrüzyon teknolojisinin cips ve atıştırmalık üretiminde en önemli ileri tekniklerden biri olduğunu göstermektedir. Bu teknoloji, yüksek besin değerine sahip ve aynı zamanda gevreklik ile kabul edilebilir tat gibi istenen duyuşal özellikleri taşıyan yenilikçi ürünlerin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca tahıllar, baklagiller, tohumlar ve gıda endüstrisi yan ürünleri gibi farklı hammaddelerin kullanımı, daha sağlıklı ve sürdürülebilir ürünlerin üretilmesine katkı sunmaktadır.

Bu ürünlerin başarısı büyük ölçüde ekstrüzyon koşullarının (sıcaklık, nem ve vida hızı gibi) hassas bir şekilde kontrol edilmesine bağlıdır. Çünkü bu parametreler ürünün dokusu, genleşmesi ve nihai kalitesi üzerinde doğrudan etkiye sahiptir.

Bununla birlikte, besin değeri ile duyuşal özellikler arasında denge kurulması, besin ögesi kayıplarının en aza indirilmesi ve üretim süreçlerinin optimize edilerek ürün kalitesinin ve stabilitesinin sağlanması gibi bazı zorluklar hâlâ devam etmektedir.

Genel olarak ekstrüzyon teknolojisi, modern tüketici taleplerini karşılayan ve gıda sürdürülebilirliğini destekleyen sağlıklı atıştırmalıkların geliştirilmesinde umut vadeden bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir.

Beyanlar

Yazar Katkı Beyanı

Mustafa Hafez: Literatür taraması, ilgili kaynakların seçimi, verilerin ve bilgilerin derlenmesi, değerlendirilmesi, makalenin yazımı. Cem Baltacıoğlu: Makalenin yazımı ve bilimsel açıdan gözden geçirilmesi.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

- Agarwal, S., & Chauhan, E. S. (2019). Extrusion processing: The effect on nutrients and based products. *The Pharma Innovation Journal*, 8(4), 464–470.
- Alemayehu, H., Emire, S. A., & Henry, C. (2019). Effects of extrusion process parameters on the quality properties of ready-to-eat pulse-based snacks. *Cogent Food & Agriculture*, 5(1), Article 1641903. <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1641903>
- Al-Hassan, M., Kayali, K., & Pasha, S. I. (2024). Effect of extrusion technology on some physicochemical properties of snack foods produced from some cereals [in Arabic]. *Syrian Journal of Agricultural Research*, 11(4), 19–29. <https://agri-research-journal.net/SjarEn/wp-content/uploads/v11n4p3.pdf>
- Bozdoğan, N., Kutlar, L. M., & Kumcuoglu, S. (2025). Development of gluten-free extruded snack containing lentil flour and evaluation of extrusion process conditions on quality properties. *Food Science and Nutrition*, 13(8), e70663.
- Dalbhat, C. G., Mahato, D. K., & Mishra, H. N. (2019). Effect of extrusion processing on physicochemical, functional and nutritional characteristics of rice and rice-based products: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 85, 226–240. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.01.001>
- Dendegh, T. A., Enefol, O. S., Akpapunam, S. O., Yelmi, B. M., & Abdullahi, M. J. B. (2023). Extrusion technology and its application in food processing – An overview. *Tropical Journal of Engineering, Science and Technology*, 1(2), 25–53. <https://tjest.org.ng/index.php/journal/article/view/85>
- Grasso, S. (2020). Extruded snacks from industrial by-products: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 99, 284–294. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.012>
- Jozinović, A., Panak Bentić, J., Aćkar, Đ., Benšić, M., Babić, J., Barišić, V., Lončarić, A., Miličević, B., & Šubarić, D. (2024). Nutritionally valuable components and heat-induced contaminants in extruded snack products enriched with defatted press cakes. *Molecules*, 29(4), 791. <https://doi.org/10.3390/molecules29040791>
- Mironeasa, S., Coțovanu, I., Mironeasa, C., & Ungureanu-Iuga, M. (2023). A review of the changes produced by extrusion cooking on the bioactive compounds from vegetal sources. *Antioxidants*, 12(7), 1453. <https://doi.org/10.3390/antiox12071453>
- Molla, M. M., Dey, B. C., Khan, M. H. H., Sabuz, A. A., Chowdhury, M. G. F., Shahinuzzaman, M., Khatun, A., Salam, M. A., Khaldun, A. B. M., Bhowmik, P., Sharp, A., Podder, R., & Ifran-Al-Rafi. (2025). Fortification of lentil chips with multiple vitamins and minerals using hot extrusion technology: Effects of moisture, extrusion temperature, conditioning, and storage techniques. *Applied Food Research*, 5(2), 101305.
- Pena, F. B., Silva, A. A., Theodoro, J. M. V., Santos, M. B., de Carvalho, C. W. P., Martino, H. S. D., & da Silva, B. P. (2025). Physicochemical, nutritional, and sensory properties of ready-to-eat whole grain bean snacks. *Food Research International*, 217, 116754. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116754>





Evaluation of Seaweed Application on Physiological Traits of Durum Wheat Landraces Under Drought Stress

Buse Tuna¹, İbrahim Köken¹, Ufuk Demirel¹

¹Nigde Omer Halisdemir University, Faculty of Agricultural Sciences and Technologies, Department of Agricultural Genetic Engineering, 51200, Niğde, Türkiye.

Abstract

Drought stress is one of the major abiotic factors limiting wheat production worldwide and causes significant reductions in plant growth and physiological performance. Seaweed-based biostimulants have recently attracted considerable attention due to their potential role in improving plant tolerance against environmental stresses. This study was conducted to evaluate the effects of seaweed application on morphological and physiological traits of durum wheat landraces exposed to severe drought stress under greenhouse conditions. Two cultivars and eight landraces were used as plant material. Plants were grown under controlled greenhouse conditions, and severe drought stress was initiated at the tillering stage by reducing soil moisture to 20% of field capacity. A 2% seaweed extract was applied twice as a foliar treatment during plant development. Morphological (plant height, tillering number, flag leaf area) and physiological (relative water content) parameters were evaluated. The results demonstrated significant differences among treatments for all investigated traits. While drought stress generally restricted plant growth, seaweed application partially alleviated these negative effects. Specifically, seaweed treatment significantly increased plant height, improved relative water content, and promoted both leaf expansion and tillering across most genotypes, although the magnitude of these responses varied according to the genotype. Overall, the findings indicate that durum wheat landraces possess considerable variability in adaptation to drought stress and that seaweed-based applications may effectively contribute to stress mitigation. This study provides useful information for future breeding programs aiming to improve drought tolerance in durum wheat and highlights the potential of biostimulant applications under water-limited conditions.

Keywords: Stress tolerance, Biostimulant, Greenhouse experiment, Biomass accumulation, Water deficit

Introduction

Originating from the Fertile Crescent in the Middle East and domesticated over 10,000 years ago, wheat is among the oldest and most important cultivated crops worldwide (Erenstein et al., 2022). Since its domestication, wheat has remained a cornerstone of global food security, playing a vital role in human nutrition and agricultural systems worldwide (Sharma et al., 2019; Shewry & Hey, 2015). The fact that wheat contains numerous beneficial constituents, including proteins, dietary fiber, vitamins, and phytochemicals, and supplies approximately 20% of the dietary calories consumed by humans, makes it an effective crop against the threat of hunger brought by rapid population growth in the world (Ali et al., 2022; Vafa et al., 2021). Wheat, along with sugar cane, corn, and rice, accounts for almost half of the world's major crop production (FAOSTAT, 2023). More than two-thirds of the wheat produced worldwide is used for food, 20% for forage, and 3-5% for seeds, industrial use, and other uses (Yılmaz & Tomar, 2022). Durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) is a valuable wheat species that contributes notably to food production sector and agricultural gain, although it constitutes smaller than 7% of the total amount of wheat produced globally. It is a major cereal crop valued for its suitability in the manufacture of semolina-based products, particularly pasta and couscous (Zingale et al., 2023). Canada, Italy, Algeria, Türkiye, USA, Mexico, Kazakhstan, Russia, India, and Azerbaijan are the main durum wheat producers in the world (Martínez-Moreno et al., 2022). However, wheat productivity is increasingly threatened by climate change-induced drought stress. Drought is a major threat to agricultural production and food security globally, as the biggest abiotic stress element resulting in reduced crop yields (Mohammadi et al., 2015). Abiotic stresses like drought provoke significant crop losses, which could lead to a 50% decrease in crop yields (Deolu-Ajayi et al., 2022). Drought adversely affects plant growth, photosynthetic performance, membrane integrity, defense systems, osmotic regulation, pigment content, and cellular architecture (Haghpahan et al., 2024). These alterations are often accompanied by excessive production of reactive oxygen species (ROS), leading to oxidative stress and the activation of complex molecular, biochemical, and physiological responses (Samanta et al., 2024). Tolerance to these abiotic stresses is a key objective in wheat breeding programs. It is necessary to diminish the devastating abiotic stress effects on crops meanwhile enhancing productivity of crop under these abiotic stress situations (Erenstein et al., 2022).

Wheat landraces represent valuable genetic resources owing to their long-term adaptation to local environmental conditions and their potential to harbor stress-resilient traits. To enhance these landraces, breeding





programs have been established in Europe and Asia over the previous 200 years (Balfourier et al., 2019). Many modern wheat cultivars exhibit a relatively narrow genetic base due to intensive breeding and selection practices. Landraces generally have a wider range of genetic base and have specific adaptations to several environmental conditions from which they originate (Ahmadizadeh et al., 2012; Lopes et al., 2015). Durum wheat landraces, characterized by tall plant architecture, long coleoptiles, and early vigor, likely possess adaptive traits that enable them to survive, thrive, and adapt to drought-prone Mediterranean environments (Jaradat, 2014). Studies show that raised biomass and the thousand grain weight, which are important characteristics in adapting to drought and heat, can be found in the genetic resources of landraces (Lopes et al., 2015). Landraces, therefore, may be a good genetic source of valuable characteristics to be used in wheat breeding studies. Seaweeds, an integral component of marine coastal ecosystems, have long been utilized in agriculture as a source of organic matter and natural fertilizers (Khan et al., 2009).

More recently, seaweed-derived extracts and nutritional supplements have gained considerable attention as sustainable alternatives to synthetic agrochemicals owing to their non-toxic, non-polluting, and readily biodegradable nature (Layek et al., 2019; Rathore et al., 2009; Rabhi et al., 2025). Their use contributes to reduced chemical inputs, improved soil health, and enhanced resource-use efficiency in crop production systems. The beneficial effects of seaweed extracts are primarily attributed to their rich composition of bioactive compounds, including macronutrients, micronutrients, phytohormones, amino acids, proteins, lipids, vitamins, carbohydrates, sterols, and polyphenols (Khan et al., 2009; Szczepanek et al., 2018; Deolu-Ajayi et al., 2022). These compounds promote seed germination, stimulate root and shoot development, enhance nutrient uptake, improve antioxidant capacity, and support overall plant growth and productivity (Rathore et al., 2009). In addition to their growth-promoting properties, numerous studies have demonstrated that seaweed-based biostimulants enhance plant tolerance to drought stress through the regulation of physiological and biochemical processes (Mughunth et al., 2024; Bint Tariq & Umer, 2025).

Consequently, seaweed extract application has been associated with significant improvements in growth and yield across a wide range of crops, including wheat (Szczepanek et al., 2018), soybean (Rathore et al., 2009), rice (Layek et al., 2018), maize (Layek et al., 2019), sorghum (Dalwale et al., 2022), oat (Drygaś et al., 2021), barley (Featonby-Smith & Van Staden, 1987), quinoa (Mohamadpoor et al., 2022), and millet (Rathinapriya et al., 2020). To date, however, studies investigating the interaction between seaweed-based biostimulants and drought tolerance mechanisms in wheat landraces remain scarce. Because genotype-dependent responses to biostimulants have frequently been reported, evaluating genetically diverse germplasm may facilitate the identification of responsive genotypes and improve the efficiency of breeding programs.

Therefore, the present study aimed to evaluate the effect of foliar-applied seaweed extract on the physiological and morphological responses of durum wheat cultivars and landraces under drought stress. The study specifically compared drought-stressed plants with and without seaweed application in order to determine whether seaweed treatment could alleviate the adverse effects of water deficit and to identify genotypes exhibiting superior physiological performance under these conditions.

Materials and Methods

Materials

The study was carried out in the research and application greenhouse of the Department of Agricultural Genetic Engineering, Faculty of Agricultural Sciences and Technologies, Niğde Ömer Halisdemir University, as well as in its laboratories. A total of 10 durum wheat genotypes, comprising two cultivars (Kunduru 1144 and Dumlupınar) and eight landraces (TR 53861, TR 46881, TR 81238, TR 54977, TR 54973, TR 53860, TR 35150, TR 81258) were used in this study (Table 1). A commercial seaweed extract (NATURWIN) containing 45% organic matter, 2% alginic acid, 15% water-soluble K₂O, an electrical conductivity (EC) of 40 dS m⁻¹, and a pH of 8.5-10.5 was used in the experiment (Figure 1).

Table 1. The plant materials used in this study

Genotype	Name
1	Kunduru 1144
2	Dumlupınar
3	TR 53861
4	TR 46881
5	TR 81238
6	TR 54977
7	TR 54973
8	TR 53860
9	TR 35150
10	TR 81258





Figure 1. NATURWIN Branded seaweed material

Methods

The experiment consisted of ten genotypes, two treatments (drought and drought + seaweed). Seeds were sown in plastic pots filled with a peat and perlite mixture (3:1, v/v), with ten seeds per pot. The experiment was arranged in a factorial design with three replications. Following seedling emergence, plants were thinned to five uniform seedlings per pot. All pots were maintained at field capacity until the tillering stage to ensure uniform plant establishment.

Field capacity of the potting substrate was determined gravimetrically by saturating the pots with water and allowing free drainage for 24 h. Drought stress was initiated at the tillering stage (45 days after sowing; Zadoks growth stage 25) by reducing soil moisture to 20% of field capacity, and this moisture level was maintained until the end of the experiment (Zadoks et al., 1974). The irrigation volume required to maintain this moisture level was approximately 100 mL pot⁻¹.

Seaweed extract was applied as a 2% foliar spray at the onset of drought stress (Zadoks GS25) and reapplied once at the jointing stage (125 days after sowing; Zadoks GS31) (Zadoks et al., 1974). The selected concentration was based on the recommendation of Ali et al. (2022), who reported superior performance of wheat plants at this concentration. Urea fertilizer (46% N) was supplied to all pots at a rate of 1 g pot⁻¹ during the growing period.

Physiological and Morphological Measurements

Plant height (cm) was measured from the soil surface to the tip of the spike at physiological maturity. Fresh leaf weight (FW) was determined immediately after sampling the uppermost fully expanded leaf. The samples were subsequently immersed in distilled water for four hours to obtain turgid weight (TW), followed by oven drying at 70°C for 48 h to determine dry weight (DW). Relative water content (RWC) was calculated according to Barrs and Weatherley (1962) using the following equation: (1)

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

Flag leaf area (FLA, cm²) was calculated by multiplying flag leaf length and maximum leaf width by a correction factor of 0.74 according to the method described by Muller (1991). Tillering number was determined by counting productive tillers per plant at the end of the experimental period. Fresh leaf weight and dry leaf weight were recorded following standard physiological measurement procedures.

Statistical Analysis

The experiment was conducted as a factorial arrangement consisting of genotype and treatment factors with three replications. Analysis of variance (ANOVA) was performed using Statistix 8.1 software to determine the effects of genotype, treatment, and their interaction. Mean comparisons were carried out using the Least Significant Difference (LSD) test at the 5% probability level.





Results

The results of the analysis of variance are presented in Table 2, while the mean comparisons for each trait are illustrated in Figures 2-5.

The analysis of variance revealed significant treatment effects for all investigated traits, whereas genotype effects varied depending on the measured parameter (Table 2). Treatment significantly affected tillering number ($P < 0.01$), flag leaf area ($P < 0.01$), and relative water content ($P < 0.01$). Genotype significantly influenced tillering number ($P < 0.01$), whereas its effects on flag leaf area and relative water content were not significant. A significant genotype $\times$ treatment interaction was detected only for flag leaf area ($P < 0.05$), indicating differential responses of genotypes to seaweed application under drought conditions. In contrast, genotype $\times$ treatment interactions for tillering number and relative water content were not significant.

Table 2. Analysis of Variance Table for Plant Height, Tillering Number, Flag Leaf Area, and Relative Water Content (RWC)

Trait	Source of variation	Mean square	F	P
Plant Height	Genotypes	215.44	4.82	0.0012**
	Treatment	3154.20	185.34	0.0001**
	Interaction (G $\times$ T)	42.15	0.88	0.5482 ^{ns}
Tillering Number	Genotypes	1.6164	4.26	0.0027**
	Treatment	2.3892	132.73	0.0075**
	Interaction (G $\times$ T)	0.2943	0.66	0.7375 ^{ns}
Flag Leaf Area	Genotypes	15.566	1.59	0.1712 ^{ns}
	Treatment	337.224	196.77	0.0050**
	Interaction (G $\times$ T)	27.056	2.77	0.0212*
RWC	Genotypes	1213.68	1.05	0.4303 ^{ns}
	Treatment	1172.56	769.72	0.0013**
	Interaction (G $\times$ T)	2009.64	1.74	0.1336 ^{ns}

ns: not significant; * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$.

Plant Height

Analysis of variance revealed that both genotype and treatment significantly affected plant height under drought conditions (Table 2). However, the genotype $\times$ treatment interaction was not significant ($P > 0.05$), indicating that the response to seaweed application was generally consistent among the evaluated genotypes.

Mean comparisons showed that plant height was higher in the drought + seaweed treatment than in the drought treatment for all evaluated genotypes (Figure 2). Plant height under drought + seaweed treatment ranged from 62.00 cm (TR 81238) to 91.00 cm (TR 53860), whereas values under drought treatment ranged from 54.50 cm (Dumlupınar) to 78.00 cm (TR 53860). The greatest increase associated with seaweed application was observed in TR 35150, where plant height increased from 63.50 cm under drought to 81.67 cm following seaweed application. Similarly, substantial improvements were recorded in Dumlupınar (54.50-71.50 cm) and Kunduru 1144 (63.33-76.00 cm). In contrast, the smallest differences between treatments were observed in TR 46881, TR 81238, and TR 54973. Overall, seaweed application promoted plant height in all durum wheat genotypes evaluated under drought stress, although the magnitude of the response varied among genotypes.

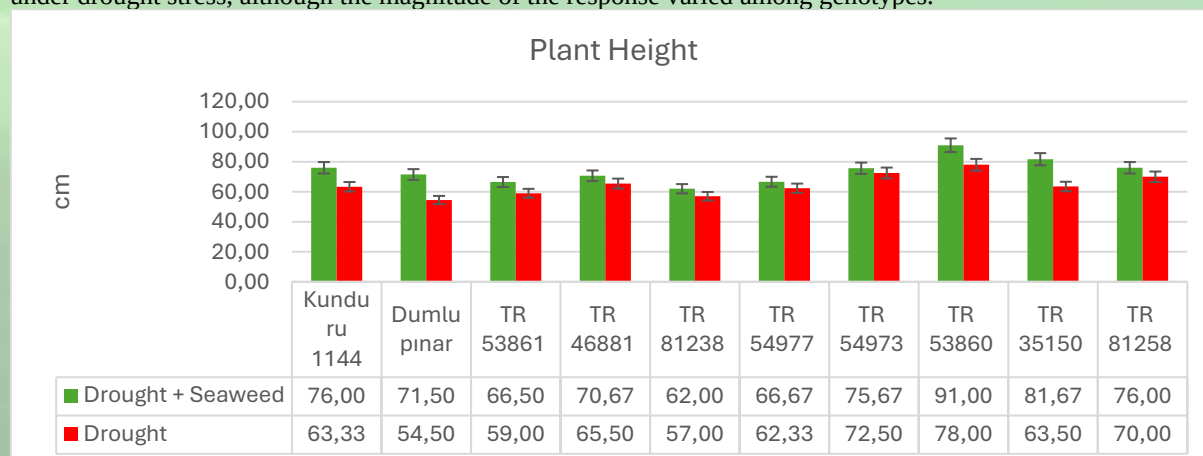


Figure 2. Plant height of durum wheat genotypes under drought + seaweed and drought groups





Tillering Number

Seaweed application generally increased tillering number under drought conditions in most durum wheat genotypes (Figure 3). The highest tillering number under drought + seaweed treatment was recorded in Kunduru 1144 (4.00 tillers plant⁻¹), followed by TR 81238 (3.56 tillers plant⁻¹) and TR 46881 (3.33 tillers plant⁻¹). Under drought treatment alone, Kunduru 1144 also exhibited the highest value (3.33 tillers plant⁻¹), whereas TR 53860 showed the lowest tillering number (1.00 tillers plant⁻¹). Although the magnitude of response differed among genotypes, seaweed application increased tillering number in the majority of the evaluated genotypes.

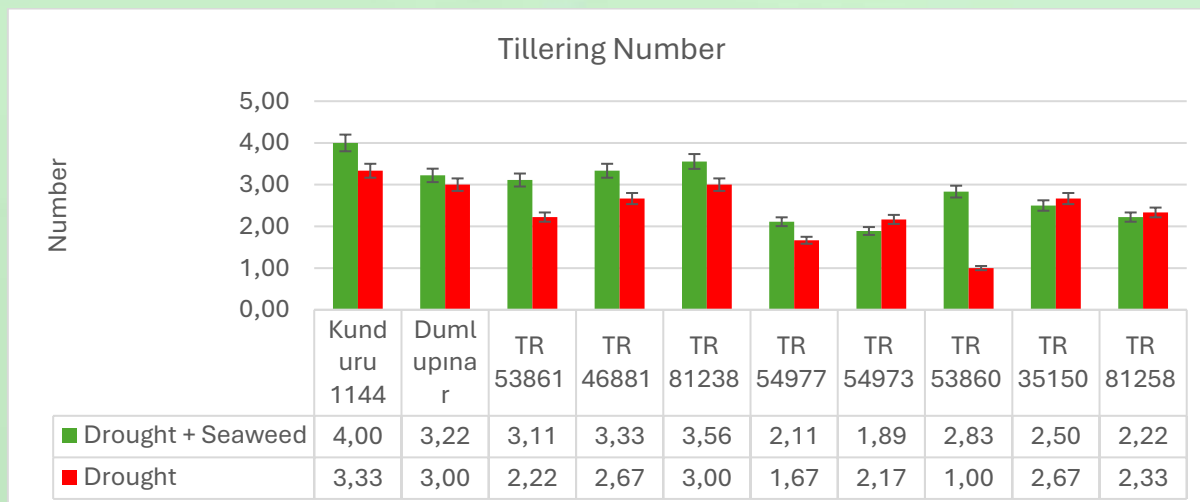


Figure 3. Tillering numbers of durum wheat genotypes under drought + seaweed and drought groups

Flag Leaf Area

Flag leaf area differed significantly between drought and drought + seaweed treatments (Figure 4). Seaweed-treated plants generally exhibited larger flag leaf areas than drought-treated plants. The highest flag leaf area under seaweed application was observed in TR 46881 (27.76 cm²), followed by Kunduru 1144 (26.70 cm²). In contrast, the smallest flag leaf area under drought treatment was recorded in TR 53860 (12.83 cm²). Considerable variation in treatment response was observed among genotypes, consistent with the significant genotype × treatment interaction detected by the analysis of variance.

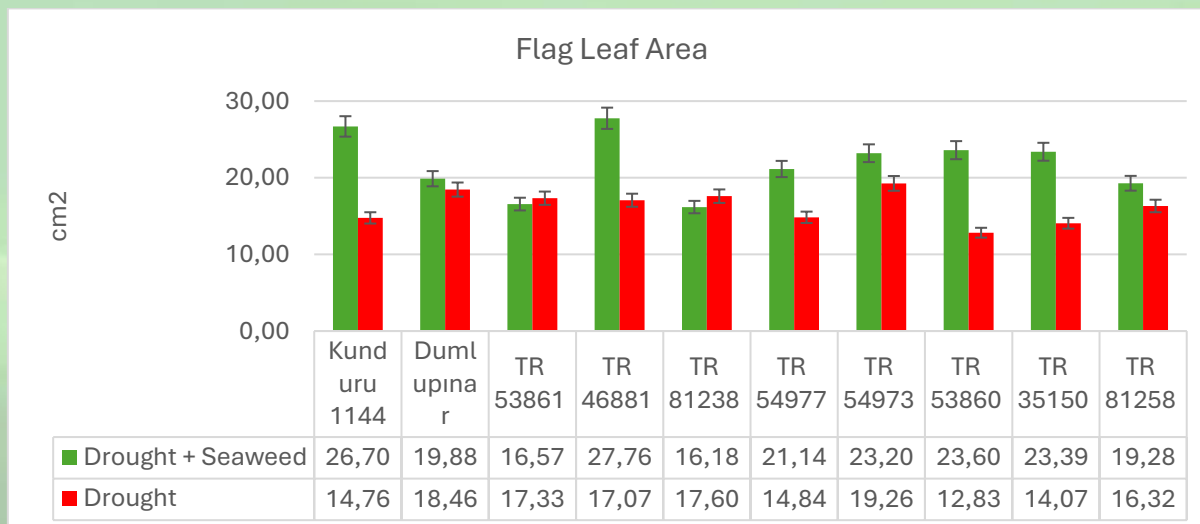


Figure 4. Flag leaf areas of durum wheat genotypes under drought + seaweed and drought groups

Relative Water Content

Relative water content (RWC) was significantly affected by treatment (Table 2). Under drought + seaweed treatment, RWC values ranged from 55.81% to 84.38%, whereas drought-treated plants ranged from 44.34% to 78.21% (Figure 5). The highest RWC under seaweed application was obtained from TR 54977 (84.38%), while the lowest value was observed in TR 81258 (55.81%). Under drought treatment, TR 54973 exhibited the highest RWC (78.21%), whereas TR 53861 had the lowest value (44.34%). Overall, seaweed application resulted in higher RWC values in most evaluated genotypes under drought conditions.



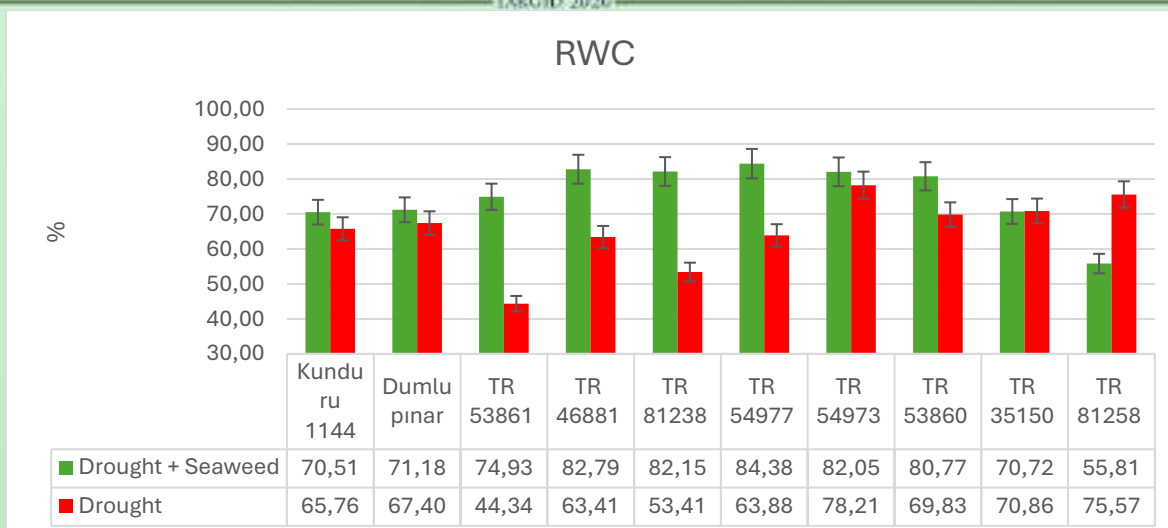


Figure 5. RWC means of durum wheat genotypes under drought + seaweed and drought groups

Discussion

Seaweed applications generally increased plant height compared with drought-stressed plants that did not receive seaweed treatment, indicating that seaweed partially alleviated the inhibitory effects of drought on vegetative growth. Plant height is one of the first morphological traits affected by water deficit because drought limits cell expansion and stem elongation through reduced turgor pressure and photosynthetic activity. The higher plant height observed following seaweed application suggests that the biostimulant helped maintain plant growth despite severe water limitations.

These findings are consistent with those of Ali et al. (2022), who reported that seaweed extract promoted shoot growth and improved drought tolerance in wheat under water-deficit conditions. Similarly, Kasim et al. (2015) demonstrated that seaweed application mitigated drought-induced growth inhibition by improving physiological performance, while Sharma et al. (2019) reported that seaweed extracts enhanced drought tolerance through improved water relations and hormonal regulation. The variation in response among genotypes observed in the present study further indicates that the effectiveness of seaweed application depends on the genetic background of the plant, a conclusion also supported by Deolu-Ajayi et al. (2022).

Relative water content is one of the most reliable physiological indicators of plant water status under drought stress. In the present study, seaweed-treated plants generally maintained higher RWC values than drought-treated plants without seaweed application, indicating an improved ability to retain water under limited soil moisture conditions.

Seaweed extracts contain numerous bioactive compounds, including phytohormones, polysaccharides, amino acids, and osmoprotective substances that contribute to osmotic adjustment and improved cellular hydration under drought stress (Khan et al., 2009; Deolu-Ajayi et al., 2022). Similar increases in RWC following seaweed application have been reported by Ali et al. (2022), who associated this improvement with enhanced drought adaptation in wheat. Likewise, Kasim et al. (2015) demonstrated that seaweed-treated wheat plants maintained better leaf water status than untreated drought-stressed plants. The relatively consistent increase in RWC among the evaluated genotypes suggests that seaweed application positively affected plant water relations regardless of genotype.

Flag leaf area was generally greater in seaweed-treated plants than in drought-stressed plants without seaweed application. Maintenance of flag leaf area under drought is particularly important because the flag leaf contributes substantially to assimilate production during the grain-filling period. Therefore, preserving leaf expansion under stress may help sustain photosynthetic capacity even under reduced water availability.

The present findings agree with those of Kasim et al. (2015), who reported that seaweed extracts reduced the detrimental effects of drought on leaf development in wheat. Similar improvements in vegetative growth have also been reported in several cereal species, including maize (Layek et al., 2019), barley (Featonby-Smith and Van Staden, 1987), and oat (Drygaś et al., 2021). The significant genotype $\times$ treatment interaction observed for flag leaf area indicates that the magnitude of improvement varied among genotypes, suggesting differences in their responsiveness to seaweed-derived biostimulants under drought stress.

Seaweed application generally promoted tillering under drought conditions, although the magnitude of improvement differed among the evaluated genotypes. Tillering is an important yield-related trait because productive tillers directly influence spike number and ultimately grain yield. Maintaining tiller formation under drought therefore represents an important component of stress adaptation.





The positive effect observed in the present study may be associated with naturally occurring growth regulators present in seaweed extracts, particularly cytokinins and auxins, which stimulate vegetative growth and tiller development (Khan et al., 2009). Similar beneficial effects of seaweed-based biostimulants on cereal growth have previously been reported in wheat (Szczepanek et al., 2018), barley (Featonby-Smith and Van Staden, 1987), maize (Layek et al., 2019), and sorghum (Dalwale et al., 2022). Although genotypes differed in their tillering capacity, the overall improvement observed following seaweed application suggests that seaweed can partially compensate for the negative effects of drought on vegetative development.

Conclusion

This study evaluated the effects of foliar seaweed application on the physiological and morphological responses of durum wheat cultivars and landraces exposed to severe drought stress under greenhouse conditions. Significant treatment effects were observed for plant height, flag leaf area, relative water content, and tillering number, demonstrating that seaweed application alleviated the adverse effects of drought on plant growth and water status. In general, seaweed-treated plants exhibited greater plant height, larger flag leaf area, higher relative water content, and improved tillering capacity compared with drought-stressed plants without seaweed application.

The responses to seaweed application varied among genotypes, indicating the existence of genetic differences in the utilization of seaweed-derived biostimulants under drought conditions. Nevertheless, the overall improvement observed in most genotypes suggests that seaweed application can contribute to maintaining plant growth and physiological performance under water-limited conditions.

The findings indicate that seaweed-based biostimulants represent a promising management strategy for mitigating drought stress in durum wheat. In addition, the observed variation among landraces highlights their potential as valuable genetic resources for breeding programs aimed at improving drought tolerance. Further studies under field conditions and across different drought intensities are recommended to validate the greenhouse results and optimize application strategies for practical agricultural use.

Declarations

Author Contribution Statement

Buse Tuna: Investigation, greenhouse experiment, data collection, physiological and morphological measurements, formal analysis, and writing – original draft.

İbrahim Köken: Conceptualization, methodology, experimental design, supervision, data validation, formal analysis, writing – review & editing.

Ufuk Demirel: Project administration, supervision, methodology, resources, critical review, and editing of the manuscript.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Ahmadizadeh, M., Valizadeh, M., Shahbazi, H., & Nori, A. (2012). Behavior of durum wheat genotypes under normal irrigation and drought stress conditions in the greenhouse. *African Journal of Biotechnology*, 11(8), 1912–1923. <https://doi.org/10.5897/AJB11.2370>
- Ali, A. H., Said, E. M., & Abdelgawad, Z. A. (2022). The role of seaweed extract on improvement drought tolerance of wheat revealed by osmoprotectants and DNA (cpDNA) markers. *Brazilian Journal of Botany*, 45(3), 857–867. <https://doi.org/10.1007/s40415-022-00820-5>
- Balfourier, F., Bouchet, S., Robert, S., De Oliveira, R., Rimbart, H., Kitt, J., ... & Paux, E. (2019). Worldwide phylogeography and history of wheat genetic diversity. *Science Advances*, 5(5), eaav0536. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aav0536>
- Barrs, H. D., & Weatherley, P. E. (1962). A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*, 15(3), 413–428.
- Bint Tariq, T., & Umer, M. (2025). The potential of seaweed-derived polysaccharides as sustainable biostimulants in agriculture. *International Journal of Biological Macromolecules*, 298, 140009. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.140009>
- Dalwale, M. A., Singh, R., & Singh, G. (2022). Influence of biofertilizers and foliar application of seaweed (*Kappaphycus alvarezii*) extract on growth of sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *International Journal of Environment and Climate Change*, 12(10), 181–186. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2022/v12i1030782>
- Deolu-Ajayi, A. O., van der Meer, I. M., Van der Werf, A., & Karlova, R. (2022). The power of seaweeds as plant biostimulants to boost crop production under abiotic stress. *Plant, Cell & Environment*, 45(9), 2537–2553. <https://doi.org/10.1111/pce.14391>
- Drygaś, B., Depciuch, J., & Puchalski, C. (2021). Effect of *Ascophyllum nodosum* alga application on microgreens, yield, and yield components in oats *Avena sativa* L. *Agronomy*, 11(7), 1446. <https://doi.org/10.3390/agronomy11071446>





- Erenstein, O., Jaleta, M., Mottaleb, K. A., Sonder, K., Donovan, J., & Braun, H. J. (2022). Global trends in wheat production, consumption and trade. In *Wheat Improvement* (pp. 47–66). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-90673-3_4
- FAOSTAT. (2023). Food and agriculture organization corporate statistical database. <https://www.fao.org/3/cc8166en/online/cc8166en.html#chapter-3>
- Featonby-Smith, B. C., & Van Staden, J. (1987). Effects of seaweed concentrate on grain yield in barley. *South African Journal of Botany*, 53(2), 125–128. [https://doi.org/10.1016/S0254-6299\(16\)31446-6](https://doi.org/10.1016/S0254-6299(16)31446-6)
- Haghpahan, M., Hashemipetroudi, S., Arzani, A., & Araniti, F. (2024). Drought tolerance in plants: Physiological and molecular responses. *Plants*, 13(21), 2962. <https://doi.org/10.3390/plants13212962>
- Jaradat, A. A. (2014). The vanishing wheat landraces of the Fertile Crescent. *Emirates Journal of Food & Agriculture (EJFA)*, 26(2). <https://doi.org/10.9755/ejfa.v26i2.17542>
- Kasim, W. A., Hamada, E. A., El-Din, N. S., & Eskander, S. (2015). Influence of seaweed extracts on the growth, some metabolic activities and yield of wheat grown under drought stress. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 7(2), 173–189.
- Khan, W., Rayirath, U. P., Subramanian, S., Jithesh, M. N., Rayorath, P., Hodges, D. M., ... & Prithiviraj, B. (2009). Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28(4), 386–399. <https://doi.org/10.1007/s00344-009-9103-x>
- Layek, J., Das, A., Ghosh, A., Sarkar, D., Idapuganti, R. G., Boragohain, J., ... & Lal, R. (2019). Foliar application of seaweed sap enhances growth, yield and quality of maize in Eastern Himalayas. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 89(1), 221–229. <https://doi.org/10.1007/s40011-017-0929-x>
- Layek, J., Das, A., Idapuganti, R. G., Sarkar, D., Ghosh, A., Zodape, S. T., ... & Meena, R. S. (2018). Seaweed extract as organic bio-stimulant improves productivity and quality of rice in eastern Himalayas. *Journal of Applied Phycology*, 30(1), 547–558. <https://doi.org/10.1007/s10811-017-1225-0>
- Lopes, M. S., El-Basyoni, I., Baenziger, P. S., Singh, S., Royo, C., Ozbek, K., ... & Vikram, P. (2015). Exploiting genetic diversity from landraces in wheat breeding for adaptation to climate change. *Journal of Experimental Botany*, 66(12), 3477–3486. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv122>
- Martínez-Moreno, F., Ammar, K., & Solís, I. (2022). Global changes in cultivated area and breeding activities of durum wheat from 1800 to date: A historical review. *Agronomy*, 12(5), 1135. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051135>
- Mohammadi, R., Sadeghzadeh, B., Ahmadi, H., Bahrami, N., & Amri, A. (2015). Field evaluation of durum wheat landraces for prevailing abiotic and biotic stresses in highland rainfed regions of Iran. *The Crop Journal*, 3(5), 423–433. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2015.03.008>
- Mohamadpoor, G., Farzaneh, S., Khomari, S., & Seyed Sharif, R. (2022). Effect of humic acid and seaweed extract on growth and yield of quinoa under drought stress. *Journal of Crops Improvement*, 24(3), 869–885. <https://doi.org/10.22059/jci.2021.312419.2469>
- Mughunth, R. J., Velmurugan, S., Mohanalakshmi, M., & Vanitha, K. J. S. H. (2024). A review of seaweed extract's potential as a biostimulant to enhance growth and mitigate stress in horticulture crops. *Scientia Horticulturae*, 334, 113312. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113312>
- Muller, J. (1991). Determining leaf surface area by means of a wheat osmoregulation water use: The challenge. *Agriculture Meteorology*, 14, 311–320.
- Rabhi, M. L., Derbak, L., Bendif, H., Boufahja, F., Abu-Elsaoud, A. M., & Garzoli, S. (2025). Seaweed-derived biostimulants for sustainable crop production: A review. *Journal of Biotechnology*. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2025.09.013>
- Rathinapriya, P., Satish, L., Pandian, S., Rameshkumar, R., Balasangeetha, M., Rakkammal, K., & Ramesh, M. (2020). Effects of liquid seaweed extracts in improving the agronomic performance of foxtail millet. *Journal of Plant Nutrition*, 43(19), 2857–2875. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1799002>
- Rathore, S. S., Chaudhary, D. R., Boricha, G. N., Ghosh, A., Bhatt, B. P., Zodape, S. T., & Patolia, J. S. (2009). Effect of seaweed extract on the growth, yield and nutrient uptake of soybean (*Glycine max*) under rainfed conditions. *South African Journal of Botany*, 75(2), 351–355. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2008.10.009>
- Samanta, S., Seth, C. S., & Roychoudhury, A. (2024). The molecular paradigm of reactive oxygen species (ROS) and reactive nitrogen species (RNS) with different phytohormone signaling pathways during drought stress in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 206, 108259. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.108259>
- Sharma, S., Chen, C., Khatri, K., Rathore, M. S., & Pandey, S. P. (2019). *Gracilaria dura* extract confers drought tolerance in wheat by modulating abscisic acid homeostasis. *Plant Physiology and Biochemistry*, 136, 143–154. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.01.015>
- Shewry, P. R., & Hey, S. J. (2015). The contribution of wheat to human diet and health. *Food and Energy Security*, 4(3), 178–202. <https://doi.org/10.1002/fes3.64>
- Szczepanek, M., Wszelaczyńska, E., & Pobereźny, J. (2018). Effect of seaweed biostimulant application in spring wheat. *AgroLife Scientific Journal*, 7(1). <https://doi.org/10.17930/AGL2018117>
- Vafa, Z. N., Sohrabi, Y., Sayyed, R. Z., Luh Suriani, N., & Datta, R. (2021). Effects of the combinations of rhizobacteria, mycorrhizae, and seaweed, and supplementary irrigation on growth and yield in wheat cultivars. *Plants*, 10(4), 811. <https://doi.org/10.3390/plants10040811>
- Yılmaz, A. M., & Tomar, O. (2022). Türkiye’de buğdayın kendi kendine yeterlilik ve ithalata bağımlılık açısından değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 449–456. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1192874>
- Zadoks, J. C., Chang, T. T., & Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14(6), 415–421. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>
- Zingale, S., Spina, A., Ingrao, C., Fallico, B., Timpanaro, G., Anastasi, U., & Guarnaccia, P. (2023). Factors affecting the nutritional, health, and technological quality of durum wheat for pasta-making: A systematic literature review. *Plants*, 12(3), 530. <https://doi.org/10.3390/plants12030530>





***In vitro* gastrointestinal survival of vegetative cells and spores of novel probiotic *Bacillus* strains**

Ayşe Avcı, Fikriye Alev Akçay, Elif Sezer*, Esma Alemdar, Aisha Dahir Ahmed, İnci Cerit

Sakarya University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, 54050, Sakarya, Türkiye.

Abstract

Probiotics must retain a high level of viability while passing through the gastrointestinal tract, where they are exposed to harsh conditions such as high bile salt concentrations, low pH, and digestive enzymes. The *in vitro* simulated digestion model is based on exposing probiotics to these sequential conditions [salivary juice (SSJ), gastric juice (SGJ), and intestinal juice (SIJ)] mimicking the digestion system. In the present study, the tolerance of both vegetative cells and spores to the *in vitro* simulated gastrointestinal system was evaluated. The vegetative cells or spores were sequentially subjected to SSJ (5 min), SGJ (2 h) and SIJ (2 h). All the reactions were performed at 37 °C, and the samples were centrifuged to remove the liquid phases after each step. The samples were taken after each step to make a bacterial count using nutrient agar plates. Logarithmic survival rate of the microorganisms was calculated. The results showed that both the vegetative cells and the spores were highly resistant to all the digestive system conditions. The minimum viability at the end of the SIJ was 81.8%, while most of the isolates had the survival rates over 90%. Overall, these findings indicated that the tested isolates, in both vegetative and spore forms, possess remarkable resilience to gastrointestinal conditions, highlighting their strong potential as effective probiotic candidates for survival and functionality within the human digestive system.

Keywords: *Bacillus*, Probiotic, *in vitro*, simulated gastrointestinal

Acknowledgement: This study was funded by The Scientific and Technological Research Council of Türkiye (TÜBİTAK). Project no. 123O924.





Production of Dietary Fiber from Legume Processing Waste

Asiye Özcan Tarım ^{1*}, Cem Baltacıoğlu ²

¹ Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, 51200, Niğde, Turkey.

² Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, 51200, Niğde, Turkey.

Abstract

This study evaluated the isolation of dietary fibre from husks obtained after boiling cowpeas (*Vigna unguiculata*), white beans (*Phaseolus vulgaris*), and lentils (*Lens culinaris*) using homogenisation and control methods. Legumes were boiled until the husks separated and then soaked in cold water for husk removal. The moisture content of fresh husks ranged from 77.4% to 86%, while water activity (a_w) values were between 0.95 and 0.96. Dietary fibre production using the homogenisation method was successful only for white beans, yielding 15.83 g of dietary fibre. Colour analysis showed that the dried white bean sample had the highest L^* value (80.07), indicating the lightest colour, while cowpea and lentil samples exhibited lower and similar L^* values. All samples had low a^* values, reflecting greenish tones, whereas positive b^* values indicated yellow hues, especially in lentils. Green lentils demonstrated the highest water-holding capacity (4.24 g/g), while cowpeas had the lowest (1.78 g/g). In contrast, cowpeas showed the highest oil-holding capacity (1.97 g/g), whereas lentils had the lowest (1.18 g/g). Total phenolic content varied significantly among samples: cowpeas had the highest value (78.52 mg GAE/100 g), followed by lentils (49.85 mg GAE/100 g), while white beans showed very low phenolic content (3.05 mg GAE/100 g). Principal component analysis (PCA) was applied to evaluate physicochemical properties. The PCA score plot revealed clear grouping of samples according to their characteristics. White bean samples differed from cowpea and lentil samples along principal component 1, while lentil samples were separated from the others along principal component 2.

Keywords: Cowpea, white(dry) bean, green lentil, dietary fiber, physicochemical properties, principal component analysis (PCA)

Baklagil İşleme Atıklarından Diyet Lifi Üretimi

Özet

Bu çalışmada yüksek diyet lifi kaynağı olarak seçilen börülce (*Vigna unguiculata*), beyaz fasulye (*Phaseolus vulgaris*), ve mercimeğin (*Lens culinaris*) suda haşlandıktan sonra ortaya çıkan atık zar kabuklarının homojenizasyon ve kontrol grubu yöntemiyle diyet lifinin izole edilmesi değerlendirilmiştir. Çalışmada börülce, beyaz fasulye ve yeşil mercimek suda kabukları ayrılınca kadar haşlanmış, ardından soğuk suda bekletilerek zar kabukları ayrıştırılmıştır. Elde edilen yaş zar kabuklarının nem oranlarının %77,4–86 arasında, su aktivitesi (a_w) değerlerinin ise 0,95–0,96 aralığında olduğu belirlenmiştir. Zar kabuklarından diyet lifi üretimi homojenizasyon yöntemiyle yalnızca beyaz fasulye için gerçekleştirilmiş ve 15,83 g diyet lifi elde edilmiştir. Kuru fasulye örneğinin L^* değeri (80,07) en yüksek olup en açık renkli numune olduğunu gösterirken, börülce ve yeşil mercimek benzer ve daha düşük L^* değerlerine sahiptir. Tüm örneklerde a^* değerleri düşük olup yeşile yakın tonları işaret ederken, b^* değerleri pozitif olup sarı tonların özellikle yeşil mercimekte daha belirgin olduğunu göstermektedir. Yeşil mercimek 4,24 değeriyle en yüksek su tutma kapasitesine (%45) sahipken, börülce ise 1,78 değeriyle (%19) en düşük su tutma kapasitesini göstermektedir. Börülce 1,97 değeriyle en yüksek yağ tutma kapasitesine (%40) sahipken, yeşil mercimek ise 1,18 değeriyle (%24) en düşük yağ tutma kapasitesini göstermektedir. Börülce, yeşil mercimek ve beyaz fasulye diyet lifi örneklerinin toplam fenolik madde içerikleri karşılaştırılmıştır. Börülce 78,52 mgGAE/100 g ile en yüksek fenolik madde içeriğine sahipken, onu 49,85 mgGAE/100 g ile yeşil mercimek izlemektedir. Beyaz fasulye ise 3,05 mgGAE/100 g değeriyle oldukça düşük fenolik içeriğe sahiptir. Fizikokimyasal analizler sonucunda elde edilen veriler çoklu değişken analiz yöntemlerinden temel bileşen analizi (PCA) kullanılarak analiz edilmiştir. PCA skor grafiği incelendiğinde farklı örneklerin fizikokimyasal özelliklerine göre gruplandığı gözlenmiştir. Fasulye örneğinin, börülce ve mercimek örneklerinden temel bileşen 1' e göre farklılaştığı görülmüştür. Mercimek örneğinin, börülce ve fasulye örneklerinden temel bileşen 2' ye göre farklılaştığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Börülce, beyaz (kuru) fasulye, yeşil mercimek, diyet lifi, fizikokimyasal özellikler, temel bileşen analizi (PCA)





Giriş

Baklagiller, yüksek besin değerleri nedeniyle insan beslenmesinde önemli bir yere sahip bitkisel gıda grubunu oluşturmaktadır. Karbonhidrat, protein, diyet lifi, vitamin, mineral madde ve çeşitli fitokimyasal bileşenler bakımından zengin olmaları nedeniyle birçok ülkede temel besin kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir. Özellikle içerdiği diyet lifi sayesinde sindirim sistemi sağlığının korunmasına katkıda bulunmakta, bağırsak fonksiyonlarını düzenlemekte ve çeşitli kronik hastalıkların önlenmesinde önemli rol oynamaktadır.

Gıda sanayisinde gerçekleştirilen endüstriyel işlemler sırasında önemli miktarda yan ürün ve atık oluşmaktadır. Bu atıkların büyük bir kısmı, içerdiği değerli bileşenlere rağmen ekonomik değere dönüştürülemeden uzaklaştırılmaktadır. Günümüzde sürdürülebilir üretim anlayışı kapsamında bu yan ürünlerin yeniden değerlendirilmesi hem çevresel problemlerin azaltılması hem de ekonomik katma değer oluşturulması açısından büyük önem taşımaktadır. Baklagillerin haşlanması sırasında ayrılan zar kabukları da yüksek miktarda diyet lifi içeren önemli yan ürünler arasında yer almaktadır. Bu çalışma kapsamında, börülce (*Vigna unguiculata*), beyaz fasulye (*Phaseolus vulgaris*) ve yeşil mercimek (*Lens culinaris*) haşlama işlemi sırasında oluşan zar kabuğu atıklarından farklı yöntemlerle diyet lifi elde edilmesi amaçlanmıştır.

Materyal Metot

Haşlama işleminin ardından örnekler süzgeç yardımıyla 10 dakika süreyle süzölmüştür. Daha sonra örnekler, nem içeriği %10'un altına düşene kadar laboratuvar tipi tepsili hava sirkülasyonlu etüvde (Isotex, Türkiye) 50°C'de kurutulmuştur. Kurutulan örnekler, öğütücüde (Demsan, Türkiye) toz haline getirilmiş, analizler öncesinde uygun şekilde ambalajlanmış ve kullanım zamanına kadar 4 ± 1°C'de muhafaza edilmiştir.

Diyet Lifi Üretimi

Huang vd. (2021) tarafından uygulanan diyet lifi elde etme metoduna göre homojenize diyet lifi elde edilmiştir. Yöntemin uygulanmasında başlangıçta, 20 g toz numuneye 500 mL saf su ilave edilmiş ve hazırlanan süspansiyon oda sıcaklığında 30 dakika boyunca manyetik karıştırıcıda (Mtops HS330, Çin) karıştırılmıştır. Daha sonra süspansiyon, yüksek hızlı bir homojenizatör kullanılarak 5800 rpm'de 9 dakika süreyle homojenize edilmiştir. Homojenizasyon işleminin ardından süspansiyon oda sıcaklığına kadar soğutulmuş ve pH değeri 1 M sodyum hidroksit çözeltisi kullanılarak 7,0'a ayarlanmıştır. Daha sonra numune 8000 ×g'de 10 dakika süreyle santrifüjlenmiş (Nüve, Türkiye) ve oluşan çökelti toplanmıştır. Çökelti, etanol ile (1:2, v/v) yıkanmış, ardından bir plaka üzerine ince bir tabaka halinde yayılarak nem içeriği %10'un altına düşüncüye kadar laboratuvar tipi tepsili hava sirkülasyonlu etüvde (Isotex, Türkiye) 50°C'de kurutulmuştur. Kurutulan numune, öğütücüde (Demsan, Türkiye) toz haline getirilmiş, analizler öncesinde uygun şekilde ambalajlanmış ve kullanım zamanına kadar 4 ± 1°C'de muhafaza edilmiştir.

Yağ Tutma Kapasitesi (YTK)

Yağ tutma kapasitesi, Fernandez-Lopez ve ark. (2008)'nin yöntemine göre bazı modifikasyonlarla belirlenmiştir. Analiz kapsamında 1 g örnek tartılarak üzerine 30 mL ayçiçek yağı ilave edilmiştir. Karışım, vorteks cihazı (Weightlab WN-V2800, Türkiye) kullanılarak homojen hale getirilmiş ve oda sıcaklığında 24 saat bekletilmiştir. Bekleme süresinin sonunda örnekler 3000×g'de 20 dakika santrifüj (Nüve, Türkiye) edilmiştir. Santrifüj işlemi sonrasında üst faz dikkatlice uzaklaştırılmış, yağ absorblayan tortu ile birlikte Falcon tüpleri tartılmıştır. Yağ tutma kapasitesi aşağıdaki eşitlik kullanılarak g yağ/g örnek cinsinden hesaplanmıştır (Fernandez-Lopez ve ark., 2008).

$$\text{Yağ tutma kapasitesi (g/g)} = (c - (a + b)) / b$$

Burada; **a**: Falcon tüpünün ağırlığı (g), **b**: Örnek ağırlığı (g), **c**: Santrifüj sonrasında Falcon tüpü ile birlikte yağ absorbe etmiş katı kısmın toplam ağırlığı (g)

Su Tutma Kapasitesi (STK)

Su tutma kapasitesi, Fernandez-Lopez ve ark. (2008)'nin yöntemine göre belirlenmiştir. Analiz kapsamında darası alınmış Falcon tüplerine yaklaşık 100 mg diyet lifi örneği tartılmış ve her bir tüpe 30 mL saf su ilave edilmiştir. Karışım, vorteks cihazı (Weightlab WN-V2800, Türkiye) kullanılarak homojen hale getirilmiş ve oda sıcaklığında 24 saat bekletilmiştir. Bekleme süresinin ardından örnekler 3000×g'de 20 dakika santrifüj (Nüve, Türkiye) edilmiştir. Santrifüj işlemi sonrasında üst faz dikkatlice uzaklaştırılmış, su absorbe eden tortu ile birlikte Falcon tüpleri tartılmıştır. Su tutma kapasitesi aşağıdaki eşitlik kullanılarak g su/g örnek cinsinden hesaplanmıştır (Fernandez-Lopez ve ark., 2008).

$$\text{Su tutma kapasitesi (g/g)} = (c - (a + b)) / b$$

Burada; **a**: Falcon tüpünün ağırlığı (g), **b**: Örnek ağırlığı (g), **c**: Santrifüj sonrasında Falcon tüpü ile birlikte su absorbe etmiş katı kısmın toplam ağırlığı (g)





Renk Tayini

Lif numunelerinin renk parametreleri, kolorimetre cihazı (ChromaMeter CR-400, Konica Minolta, Japonya) kullanılarak CIELab renk sistemine göre belirlenmiştir. Ölçümlerde L* değeri parlaklığı ifade etmekte olup 0 siyahı, 100 ise beyazı temsil etmektedir. a* değeri pozitif yönde kırmızılığı, negatif yönde yeşilliği; b* değeri ise pozitif yönde sarılığı, negatif yönde maviliği göstermektedir. Numunelerin renk ölçümleri üç farklı noktadan alınmış ve ortalama değerler hesaplanmıştır. Kroma (C*) ve hue açısı (h°) değerleri aşağıdaki eşitlikler kullanılarak belirlenmiştir:

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

$$h^{\circ} = \tan^{-1}(b^*/a^*)$$

Toplam Fenolik Madde Tayini

Toplam fenolik madde tayini, Folin-Ciocalteu yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Ekstraktan 100 µL alınarak üzerine 0,75 mL %10 (v/v) Folin-Ciocalteu çözeltisi ilave edilmiş ve karışım oda sıcaklığında 5 dakika bekletilmiştir. Daha sonra 0,75 mL sodyum karbonat (Na₂CO₃, 75 g/L) çözeltisi eklenmiş ve karışım vortekslenerek homojen hale getirilmiştir. Numuneler oda sıcaklığında karanlık ortamda 90 dakika inkübe edilmiş, inkübasyon sonunda absorbans değerleri 725 nm'de spektrofotometre kullanılarak ölçülmüştür. Standart madde olarak gallik asit kullanılmış ve farklı konsantrasyonlarda hazırlanan gallik asit çözeltileri ile kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur. Ekstraktların toplam fenolik madde içerikleri, gallik asit kalibrasyon eğrisi kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar mg gallik asit eşdeğeri (GAE)/kg örnek olarak ifade edilmiştir.

Antioksidan Aktivite Tayini

Ekstraktların serbest radikal giderme aktiviteleri, 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) radikalini esas alan Blois (1958) yöntemine göre belirlenmiştir. Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan ekstraktlardan 100 µL alınarak üzerine 3,9 mL 0,1 mM DPPH çözeltisi (%80 etanol içerisinde hazırlanmış) ilave edilmiştir. Karışımlar vortekslenerek homojen hale getirilmiş ve oda sıcaklığında karanlık ortamda 30 dakika bekletilmiştir. İnkübasyon süresi sonunda örneklerin absorbansları 517 nm'de spektrofotometre ile ölçülmüştür. Kontrol örneği, ekstrakt yerine 100 µL %80 etanol kullanılarak aynı koşullarda hazırlanmıştır. DPPH radikalini giderme aktivitesi aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\% \text{ DPPH Radikalı Giderme Aktivitesi} = [(Kontrol \text{ Absorbansı} - Örnek \text{ Absorbansı}) / Kontrol \text{ Absorbansı}] \times 100$$

İstatistiksel Analizler

Fizikokimyasal analizlerinin sonuçları temel bileşen analizi (PCA gibi kemometrik yöntemle Minitab 17 (Minitab Inc., State College, ABD) programı kullanılarak değerlendirilmiştir.

Bulgular ve Tartışmalar

Elde edilen diyet lifi örneklerinde kuru madde, nem, su aktivitesi, renk analizi, su tutma kapasitesi, yağ tutma kapasitesi, toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca elde edilen diyet liflerinin un yerine %1, %3 ve %5 oranlarında ikame edilmesiyle fonksiyonel erişte üretimi planlanmıştır. Üretilen eriştelerde fizikokimyasal analizlerin yanı sıra pişirme ve duyu analizlerin yapılması hedeflenmiştir.

Haşlama sonrasında elde edilen yaş zar kabuklarının nem oranları oldukça yüksek bulunmuştur. Fasulye zar kabuğunun nemi %77,4, börülcenin %82,5 ve yeşil mercimeğin ise %86 olarak belirlenmiştir. Su aktivitesi değerleri ise 0,95–0,96 arasında değişmiştir. Bu sonuçlar zar kabuklarının mikrobiyal gelişime oldukça uygun olduğunu ve depolama öncesinde mutlaka kurutulması gerektiğini göstermektedir.

Çizelge 1. Baklagil zar kabuklarının etüvde kuruduktan sonra nem değerleri (%)

Baklagil Zar Kabukları	Nem (%)
Fasulye Zar Kabuğu	2,29
Börülce Zar Kabuğu	3,7
Yeşil Mercimek Zar Kabuğu	2,86

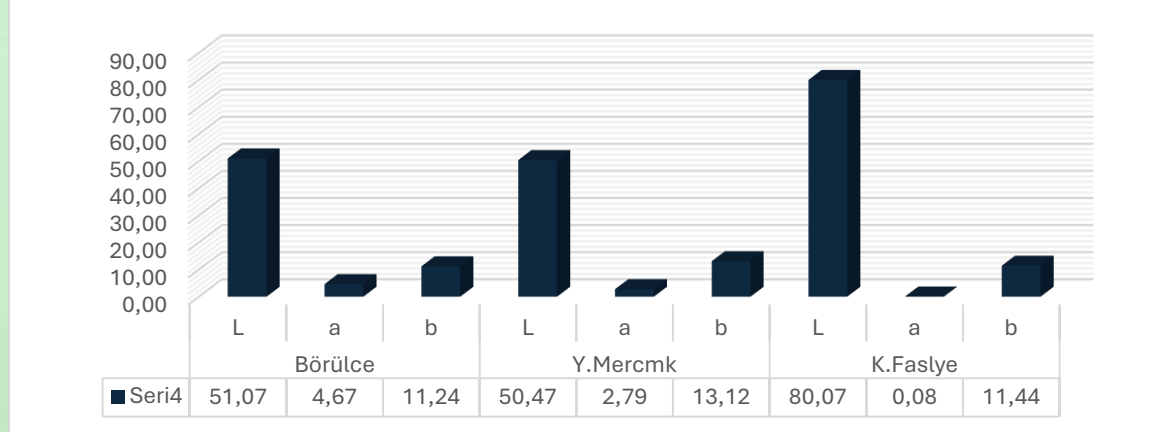
Homojenizasyon yöntemi sonucunda yalnızca beyaz fasulye zar kabuğundan 15,83 g diyet lifi elde edilmiştir. Bu yöntem, mekanik parçalama ile lif bileşenlerinin ayrıştırılmasında etkili bulunmuştur.

Renk analizinde CIELab sistemi kullanılmıştır. L* değeri açıklığı, a* değeri kırmızı-yeşil eksenini ve b* değeri sarı-mavi eksenini ifade etmektedir. Hesaplanan kroma ve hue açıları incelendiğinde tüm örneklerin sarı-yeşil renk bölgesinde yer aldığı belirlenmiştir. Beyaz fasulye örneklerinin daha açık renkte olduğu görülmüştür.

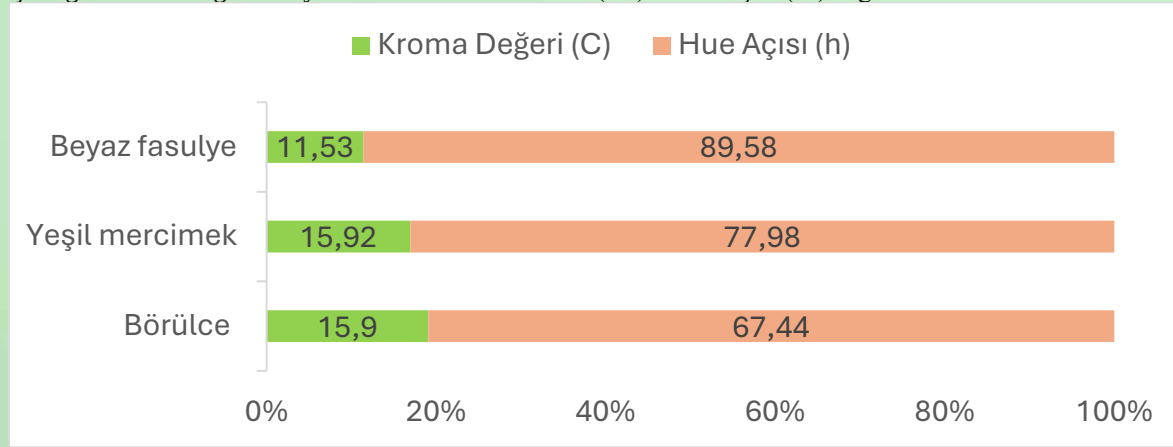




Çizelge 2. Kontrol grubu diyet lifi örneklerinde L, a ve b değerleri



Çizelge 3. Kontrol grubu diyet lifi örneklerinde kroma (C*) ve hue açısı (h°) değerleri



Su tutma kapasitesi analizinde diyet liflerinin önemli miktarda su absorplayabildiği belirlenmiştir. Liflerin yüksek su tutma kapasitesi, fonksiyonel gıdalarda tekstürün geliştirilmesi ve raf ömrünün uzatılması açısından önemli avantaj sağlamaktadır. Yağ tutma kapasitesi sonuçlarında ise börülce örneği 1,97 g/g ile en yüksek değeri göstermiştir. Beyaz fasulye ve yeşil mercimek örnekleri ise sırasıyla 1,79 ve 1,18 g/g yağ tutma kapasitesine sahip olmuştur. Toplam fenolik madde analizinde en yüksek değer börülce örneğinde $78,52 \pm 1,77$ mg GAE/100 g olarak belirlenmiştir. Yeşil mercimek örneğinde bu değer $49,85 \pm 1,66$ mg GAE/100 g, beyaz fasulyede ise yalnızca $3,05 \pm 0,41$ mg GAE/100 g olarak bulunmuştur. Sonuçlar, börülce zar kabuğunun fenolik bileşikler bakımından oldukça zengin olduğunu göstermektedir. Antioksidan aktivite sonuçları toplam fenolik madde sonuçları ile paralellik göstermiştir. DPPH yöntemiyle belirlenen inhibisyon değerlerine göre börülce örneği %63,07 ile en yüksek antioksidan aktiviteye sahip olurken, yeşil mercimek %46,50, beyaz fasulye ise %12,12 inhibisyon göstermiştir. Bu sonuçlar fenolik madde miktarı arttıkça antioksidan kapasitenin de arttığını ortaya koymaktadır. Fizikokimyasal analiz sonuçları çok değişkenli istatistiksel yöntemlerden Temel Bileşen Analizi (PCA) kullanılarak değerlendirilmiştir. PCA analizinde toplam varyansın %99,60'ı ilk iki temel bileşen tarafından açıklanmıştır. Birinci temel bileşen (PC1) toplam varyansın %59,50'sini, ikinci temel bileşen (PC2) ise %40,20'sini açıklamıştır. Skor grafikleri incelendiğinde beyaz fasulye örneklerinin PC1 ekseninde diğer örneklerden ayrıldığı, yeşil mercimek örneklerinin ise PC2 ekseninde farklılaştığı belirlenmiştir. Korelasyon analizinde PC1'in toplam fenolik madde, antioksidan aktivite ve a^* değeri ile pozitif ilişki gösterdiği; L^* , b^* ve su tutma kapasitesi ile negatif ilişki içerisinde olduğu belirlenmiştir. PC2 ise yağ tutma kapasitesi ile pozitif korelasyon göstermiştir. Hiyerarşik Kümeleme Analizi (HCA) sonuçlarında örnekler üç farklı grup altında başarılı şekilde sınıflandırılmıştır. Fasulye örnekleri kendi içerisinde %99,63, mercimek örnekleri %96,59 ve börülce örnekleri %94,71 benzerlik göstermiştir. Börülce ve mercimek örnekleri birbirine %62,29 oranında benzer bulunurken beyaz fasulye örnekleri bu iki gruptan belirgin şekilde ayrılmıştır.

Bu çalışma sonucunda endüstriyel baklagil işleme proseslerinde oluşan zar kabuğu atıklarının önemli bir diyet lifi kaynağı olduğu ortaya konulmuştur. Zar kabuklarından elde edilen diyet liflerinin fizikokimyasal özellikleri başarılı şekilde belirlenmiş ve fonksiyonel gıda üretiminde kullanılabilecek potansiyele sahip oldukları gösterilmiştir. Özellikle börülce zar kabuğu yüksek fenolik madde içeriği ve antioksidan kapasitesi sayesinde öne çıkmıştır. Beyaz fasulye ise renk özellikleri bakımından daha avantajlı bulunmuştur. Elde edilen bulgular, baklagil





işleme atıklarının çevresel yük oluşturan bir atık olmaktan çıkarılarak katma değeri yüksek fonksiyonel gıda bileşenlerine dönüştürülebileceğini göstermektedir. Bu yaklaşım sürdürülebilir gıda üretimi, döngüsel ekonomi ve atıkların değerlendirilmesi açısından önemli katkılar sağlayacaktır. Ayrıca ilerleyen aşamalarda bu diyet liflerinin farklı oranlarda erişte formülasyonuna ilave edilmesiyle geliştirilecek fonksiyonel ürünlerin besleyici değerinin artırılması ve tüketici kabulünün değerlendirilmesi mümkün olacaktır. Bu çalışmada börülce, beyaz fasulye ve yeşil mercimeğin haşlama işlemi sonrasında ayrılan zar kabuklarının diyet lifi kaynağı olarak değerlendirilmesi, baklagil işleme yan ürünlerinin fonksiyonel bileşenlere dönüştürülmesi açısından önemli bir yaklaşım ortaya koymuştur. Son yıllarda baklagil yan ürünlerinin yalnızca düşük değerli yem materyali veya atık olarak değil; diyet lifi, fenolik bileşikler ve doğal antioksidanlar bakımından zengin fonksiyonel gıda bileşenleri olarak ele alınması gerektiği vurgulanmaktadır (Nartea ve ark., 2023; Guo ve ark., 2024). Özellikle baklagil kabukları/zarları, kotiledon fraksiyonuna kıyasla daha yüksek oranda çözünmeyen diyet lifi ve çoğu zaman daha yoğun fenolik madde içeriği taşımaları nedeniyle sürdürülebilir gıda formülasyonlarında dikkate değer bir hammaddedir (Looi ve ark., 2023; Pathiraja ve ark., 2023). Haşlama sonrasında elde edilen yaş zar kabuklarının nem içeriğinin (%77,4–86) ve su aktivitesi değerlerinin (0,95–0,96) oldukça yüksek bulunması, bu materyallerin mikrobiyal bozulmaya açık olduğunu ve stabil bir bileşen olarak değerlendirilebilmesi için kurutma işleminin zorunlu olduğunu göstermektedir. Baklagil işleme yan ürünleri genellikle yüksek başlangıç nemine sahip olduklarından, depolama kararlılığı için kurutma temel bir ön işlem olarak kabul edilmektedir. Nitekim baklagil yan ürünlerinin gıda formülasyonlarında kullanılabilmesi için nemin düşürülmesi, su aktivitesinin kontrol altına alınması ve öğütülebilir bir yapı kazanması gerektiği bildirilmektedir (Nartea ve ark., 2023). Bu açıdan çalışmada zar kabuklarının kurutularak toz forma dönüştürülmesi, hem raf ömrü hem de sonraki ürün uygulamaları bakımından uygun bir yaklaşım olmuştur. Homojenizasyon yönteminin yalnızca beyaz fasulye zar kabuğunda başarılı sonuç vermesi, baklagil türleri arasındaki hücre duvarı yapısı, pektik madde düzeyi, lignoselülozik yapı ve kabuk-kotiledon ayrılma davranışındaki farklılıklarla ilişkili olabilir. Baklagil kabuklarının yapısal özellikleri tür, çeşit, renk ve işleme geçmişine bağlı olarak belirgin biçimde değişmektedir; bu durum lif izolasyon verimini ve uygulanacak ön işlemlerin etkinliğini doğrudan etkileyebilmektedir (Nartea ve ark., 2023; Guo ve ark., 2024). Dolayısıyla beyaz fasulye zar kabuğunun homojenizasyonla daha uygun lif fraksiyonu vermesi, kabuk yapısının mekanik parçalanmaya daha elverişli olmasıyla açıklanabilir. Buna karşılık börülce ve mercimek kabuklarında aynı yöntemin yetersiz kalması, bu örneklerde enzimatik veya alkali destekli izolasyonun daha etkili olabileceğine işaret etmektedir. Bu bulgu, farklı baklagil yan ürünleri için tek bir izolasyon protokolünün yeterli olmayabileceğini, türe özgü optimizasyon gereksinimini göstermesi bakımından önemlidir. Renk analizinde beyaz fasulye zar kabuğu örneğinin en yüksek L* değerine sahip olması, bu örneğin daha açık renkli bir lif tozu verdiğini göstermektedir. Buna karşılık börülce ve yeşil mercimek örneklerinin daha düşük L* değerleri ve daha yüksek a*/b* katkıları, bu örneklerin daha koyu ve pigmentçe daha zengin yapıda olduğunu düşündürmektedir. Baklagillerde kabuk rengi yalnızca görsel bir kalite parametresi değil, aynı zamanda fenolik bileşik profili ile ilişkili bir göstergedir. Özellikle koyu renkli veya pigmentli kabukların fenolik asitler, flavonoidler, tanenler ve proantosiyanidinler bakımından daha zengin olduğu; açık renkli kabukların ise daha düşük antioksidan kapasite gösterdiği sıklıkla bildirilmektedir (Troszyńska ve Ciska, 2002; Tzanova ve ark., 2023). Bu çalışmada da beyaz fasulyenin daha açık renkli yapısı ile çok düşük toplam fenolik madde içeriği birlikte değerlendirildiğinde, renk parametreleri ile fenolik bileşenler arasında anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir. Börülce ve yeşil mercimekte gözlenen daha belirgin sarı/yeşil tonlar ise fenolik profildeki farklılıkların yanı sıra doğal pigmentler ve kabuk matriksinin yapısal özellikleri ile ilişkili olabilir.

Diyet liflerinin fonksiyonel özelliklerinden biri olan su tutma kapasitesi (STK), ürünün hamur reolojisi, tekstürü, pişme davranışı ve raf ömrü üzerinde belirleyici bir parametredir. Bu çalışmada en yüksek STK'nın yeşil mercimek zar kabuğunda (4,24 g/g), en düşük değerin ise börülcede (1,78 g/g) belirlenmesi, lif kaynağının türüne bağlı olarak su ile etkileşim davranışının önemli ölçüde değiştiğini göstermektedir. Su tutma kapasitesi; lifin toplam diyet lifi miktarı, çözünür/çözünmeyen lif oranı, porozite, partikül boyutu, protein-polifenol etkileşimleri ve hücre duvarı polisakkarit kompozisyonu tarafından etkilenmektedir. Yüksek STK değerleri genellikle selüloz, hemiselüloz ve pektik yapıların suyu fiziksel olarak tutabilme kapasitesi ile ilişkilendirilirken, lif matrisinin daha gevşek ve gözenekli yapıda olması da bu özelliği artırabilmektedir (Cheng ve ark., 2024). Yeşil mercimek örneğinin daha yüksek STK göstermesi, mercimek zar kabuğunun su bağlama açısından daha uygun bir lif matrisi sunduğunu düşündürmektedir. Bu durum özellikle erişte gibi su ile hazırlanan ürünlerde verim, pişirme kaybı ve tekstürel yapı üzerinde olumlu etki oluşturabilir. Bununla birlikte çok yüksek STK'nın bazı formülasyonlarda hamur sertliğini ve işlenebilirliği de etkileyebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Yağ tutma kapasitesi (YTK) bakımından en yüksek değerin börülce örneğinde (1,97 g/g) belirlenmesi, bu örneğin hidrofobik bağlanma bölgeleri ve lif yüzey özellikleri bakımından daha avantajlı olduğunu göstermektedir. Diyet liflerinin yağ tutma kapasitesi, özellikle emülsifiye et ürünleri, fırıncılık ürünleri, atırtmalıklar ve erişte benzeri ürünlerde aroma bileşiklerinin tutulması, ağız hissinin iyileştirilmesi ve ürün stabilitesinin artırılması açısından önemlidir. YTK; lifin yüzey alanı, gözenek yapısı, protein kalıntıları ve lignin/hemiselüloz oranı ile yakından ilişkilidir (Martínez-Castaño ve ark., 2020; Martens, 2017). Börülce zar kabuğunun daha yüksek YTK göstermesi, bu lifin özellikle yağ içeren formülasyonlarda veya lezzet taşıyıcı sistemlerde fonksiyonel bir bileşen





olarak değerlendirilebileceğini düşündürmektedir. Buna karşılık mercimek örneğinin daha düşük YTK göstermesi, bu materyalin daha çok su bağlama kapasitesine dayalı uygulamalarda avantaj sağlayabileceğini düşündürmektedir. Bu sonuçlar, baklagil zar kabuklarının gıda uygulamalarında “tek tip lif kaynağı” olarak değil, fonksiyonel özelliğe göre seçilecek bileşenler olarak ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Toplam fenolik madde içeriği bakımından börülce zar kabuğunun açık ara en yüksek değeri göstermesi (78,52 mg GAE/100 g), bu materyalin yalnızca diyet lifi değil aynı zamanda önemli bir fenolik bileşik kaynağı olduğunu ortaya koymaktadır. Yeşil mercimekte orta düzeyde fenolik madde bulunurken, beyaz fasulyede oldukça düşük bir değer saptanmıştır. Bu farklılıklar, baklagillerde fenolik bileşiklerin önemli bir kısmının kabukta yoğunlaşması ve özellikle koyu/pigmentli tohum kabuklarında daha yüksek düzeylerde bulunması ile uyumludur. Cowpea (börülce) üzerinde yapılan çalışmalarda, özellikle koyu renkli veya pigmentli kabukların yüksek antioksidan kapasite ve yüksek toplam fenolik madde içeriği gösterdiği bildirilmiştir (Zia-Ul-Haq ve ark., 2013; Tzanova ve ark., 2023). Benzer şekilde lentil seed coat fraksiyonunun da fenolik asitler, kateşinler, proantosiyanidinler ve diğer antioksidan bileşikler bakımından zengin olduğu rapor edilmiştir (Pathiraja ve ark., 2023; Zhang ve ark., 2018). Beyaz fasulyede belirlenen düşük fenolik madde içeriği ise beyaz tohum kabuğunun düşük pigmentasyonuna ve daha sınırlı fenolik birikimine bağlanabilir. Bu bağlamda çalışmanın bulguları, baklagil kabuk renginin yalnızca görsel bir kalite göstergesi olmadığını, aynı zamanda biyoaktif bileşen düzeyi hakkında önemli bir öngörü sağlayabildiğini göstermektedir.

Antioksidan aktivite sonuçlarının toplam fenolik madde sonuçları ile paralel seyretmesi, çalışmada belirlenen biyoaktif profilin güvenilirliğini desteklemektedir. Börülce örneğinin en yüksek DPPH inhibisyonunu göstermesi, fenolik bileşiklerin serbest radikal süpürme kapasitesine önemli katkı sağladığını düşündürmektedir. Fenolik bileşikler, hidroksil grupları aracılığıyla serbest radikallere elektron veya hidrojen bağışlayarak antioksidan etki göstermekte; bu nedenle toplam fenolik madde ile antioksidan kapasite arasında çoğu zaman pozitif bir ilişki gözlenmektedir (Looi ve ark., 2023). Bununla birlikte antioksidan aktivitenin yalnızca toplam fenolik miktarına değil, fenolik bileşiklerin yapısına, polimerizasyon derecesine ve matrikse bağlı ekstrakte edilebilirliğine de bağlı olduğu unutulmamalıdır. Özellikle börülce ve mercimek kabuklarında bulunan kondanse tanenler ve proantosiyanidinler güçlü antioksidan kapasite sağlayabilmektedir (Pathiraja ve ark., 2023; Troszyńska ve Ciska, 2002). Bu nedenle ilerleyen çalışmalarda HPLC veya LC-MS tabanlı fenolik profil analizleri yapılarak hangi bileşiklerin antioksidan aktiviteyi daha fazla yönlendirdiği ayrıntılı biçimde ortaya konabilir.

PCA sonuçları, baklagil zar kabuklarından elde edilen lif örneklerinin fizikokimyasal ve biyoaktif özellikler bakımından belirgin biçimde ayrıldığını göstermiştir. Toplam varyansın çok büyük bir kısmının ilk iki temel bileşen tarafından açıklanması, seçilen analiz parametrelerinin örnekler arasındaki farkları güçlü şekilde yansıttığını göstermektedir. Beyaz fasulye örneklerinin PC1 doğrultusunda ayrılması, bu örneğin özellikle düşük fenolik içerik, düşük antioksidan aktivite ve daha açık renk gibi özelliklerle karakterize olduğunu düşündürmektedir. Yeşil mercimeğin PC2 boyunca ayrılması ise yüksek su tutma kapasitesi gibi teknolojik özelliklerin bu örneği farklılaştıran temel faktörlerden biri olduğunu göstermektedir. Çok değişkenli analizler, baklagil yan ürünlerinin fonksiyonel özelliklerini bütüncül biçimde değerlendirmede oldukça yararlıdır; çünkü tek tek parametrelerin yorumlanmasının ötesinde, kalite özellikleri arasındaki birlikte değişim yapısını ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, baklagil ve baklagil yan ürünlerinin sınıflandırılmasında PCA ve kümeleme analizlerinin renk, fenolik bileşenler ve fonksiyonel özelliklerle ilişkili ayrımları başarılı biçimde ortaya koyduğu bildirilmektedir (Nartea ve ark., 2023; Multescu ve ark., 2024).

Bu çalışmanın en önemli çıktılarından biri, baklagil işleme sırasında ortaya çıkan zar kabuklarının fonksiyonel gıda bileşeni olarak değerlendirilme potansiyelinin açık biçimde gösterilmiş olmasıdır. Özellikle börülce zar kabuğu, yüksek fenolik madde içeriği ve antioksidan kapasitesi ile doğal antioksidan ve lif kaynağı olarak öne çıkarken; yeşil mercimek zar kabuğu su tutma kapasitesi açısından, beyaz fasulye zar kabuğu ise daha açık renkli lif tozu üretimi açısından avantaj sağlamıştır. Bu durum, farklı baklagil kabuklarının farklı gıda uygulamaları için özelleştirilebileceğini göstermektedir. Örneğin yüksek antioksidan kapasite istenen fonksiyonel ürünlerde börülce zar kabuğu, su bağlama ve tekstür geliştirme amacıyla erişte ve hamur bazlı ürünlerde mercimek zar kabuğu, renk açısından daha nötr bir lif bileşeni gerektiğinde ise beyaz fasulye zar kabuğu tercih edilebilir.

Sonuç

Bu çalışma, börülce, beyaz fasulye ve yeşil mercimeğin haşlama işlemi sonrasında ortaya çıkan zar kabuklarının değerli bir diyet lifi kaynağı olarak değerlendirilebileceğini göstermiştir. Elde edilen bulgular, baklagil zar kabuklarının yalnızca lif içeriği bakımından değil, aynı zamanda su ve yağ tutma kapasitesi, renk özellikleri, toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan aktivite gibi fonksiyonel özellikler açısından da önemli farklılıklar taşıdığını ortaya koymuştur. Özellikle börülce zar kabuğu yüksek toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan kapasitesi ile öne çıkarken, yeşil mercimek yüksek su tutma kapasitesi, beyaz fasulye ise daha açık renkli yapısı ile dikkat çekmiştir. PCA ve HCA sonuçları da örneklerin fizikokimyasal özelliklerine göre belirgin şekilde ayrıldığını doğrulamıştır. Sonuç olarak, baklagil işleme sırasında oluşan zar kabuğu atıklarının çevresel yük oluşturan bir yan ürün olmaktan çıkarılarak fonksiyonel gıda bileşeni ve alternatif lif kaynağı olarak





değerlendirilmesi mümkündür. Bu yaklaşım, sürdürülebilir gıda üretimi ve döngüsel ekonomi kapsamında atıkların katma değeri yüksek ürünlere dönüştürülmesi açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır.

Beyanlar

Yazar Katkı Beyanı

Asiye Özcan Tarım: Literatür taraması, ilgili kaynakların seçimi, analizlerin yapılması, verilerin ve bilgilerin derlenmesi ve makalenin yazımı. Cem Baltacıoğlu: Makalenin yazımı ve bilimsel açıdan gözden geçirilmesi.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

- Cheng, Z., Zhang, Y., Li, X., & diğerleri. (2025). Water-holding capacity regulation of dietary fibers in soybean residue: From modification strategies to function improvement and food texture optimization. *Food Frontiers*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1002/fft2.70170>
- A Keshk, S., M Abd El-Razek, A., & A Amin, W. (2008). General Characteristics and Storage Stability of Beef Burger Containing Citrus Wastes Mixture. *Alexandria Science Exchange Journal*, 29(October-December), 208-216. <https://doi.org/10.21608/asejaigjsae.2008.3200>
- Guo, F., Danielski, R., Santhiravel, S., & Shahidi, F. (2024). Unlocking the nutraceutical potential of legumes and their by-products: Paving the way for the circular economy in the agri-food industry. *Antioxidants*, 13(6), 636. <https://doi.org/10.3390/antiox13060636>
- Huang, H., Chen, J., Chen, Y., Xie, J., Liu, S., Sun, N., ... & Yu, Q. (2021). Modification of tea residue dietary fiber by high-temperature cooking assisted enzymatic method: Structural, physicochemical and functional properties. *Lwt*, 145, 111314. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111314>
- Looi, E. P., & Mohd Maidin, N. (2023). The bioactivities of legumes: A review. *Food Research*, 7(5), 339–360. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.7\(5\).083](https://doi.org/10.26656/fr.2017.7(5).083)
- Martens, L. G. (2017). *Pea hull fibre*. EC Nutrition.
- Martínez-Castaño, M., Mejía Díaz, D. P., Contreras-Calderón, J., & Gallardo Cabrera, C. (2020). Physicochemical properties of bean pod (*Phaseolus vulgaris*) flour and its potential as a raw material for the food industry. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 73(2), 9179-9187.
- Multescu, M., Popescu, A., & diğerleri. (2024). Screening of the nutritional properties, bioactive compounds and antioxidant activity of legumes. *Foods*, 13(22), 3528. <https://doi.org/10.3390/foods13223528>
- Nartea, A., Brennan, M. A., Brennan, C. S., & diğerleri. (2023). Legume byproducts as ingredients for food applications: Preparation, nutrition, bioactivity, and techno-functional properties. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22(6), 5057–5095. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13137>
- Pathiraja, D., Wanasundara, J. P. D., Eleessawy, F. M., Purves, R. W., Vandenberg, A., & Shand, P. J. (2023). Water-soluble phenolic compounds and their putative antioxidant activities in the seed coats from different lentil (*Lens culinaris*) genotypes. *Food Chemistry*, 407, 135145. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135145>
- Troszyńska, A., & Ciska, E. (2002). Phenolic compounds of seed coats of white and coloured pea varieties and their antioxidant activity. *Czech Journal of Food Sciences*, 20(1), 15–22.
- Tzanova, M. T., Vasileva, I., & diğerleri. (2023). Antioxidant potentials of different genotypes of cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Agronomy*, 13(7), 1684. <https://doi.org/10.3390/agronomy13071684>
- Zhang, B., Deng, Z., Tang, Y., Chen, P. X., Liu, R., Ramdath, D. D., & Tsao, R. (2018). Phytochemicals of lentil (*Lens culinaris*) and their antioxidant and health effects. *Journal of Food Bioactives*, 1, 93–103. <https://doi.org/10.31665/JFB.2018.1128>
- Zia-Ul-Haq, M., Iqbal, S., Ahmad, S., Imran, M., Niaz, A., & Bhanger, M. I. (2013). Antioxidant activity of the extracts of some cowpea (*Vigna unguiculata*) cultivars commonly consumed in Pakistan. *Molecules*, 18(2), 2005–2017. <https://doi.org/10.3390/molecules18022005>





Rapid Evaluation of Bentonite Quality Using Physicochemical Parameters to Predict Aflatoxin Binding Efficiency

Dinesha Amarasinghe¹, Ruvini Mutucumarana^{1*}, Thushara Jayawardana²

¹Sabaragamuwa University of Sri Lanka, Faculty of Agricultural Sciences, Department of Livestock Production, 70140, Belihuloya, Sri Lanka.

²Ceylon Grain Elevators PLC. 01500, Colombo 15, Sri Lanka.

Abstract

Mycotoxin contamination in animal feed is a crucial challenge in livestock production due to its adverse effects on animal health, productivity, and food safety. Mycotoxin binders are commonly used as feed additives to adsorb fungal toxins in the gastrointestinal tract and to reduce their bioavailability. Their effectiveness depends on several physicochemical properties such as moisture content, pH, swelling index, fineness, particle size distribution, and adsorption capacity. Therefore, this study evaluated and compared the physicochemical characteristics and adsorption performance of two commercially available, feed-grade mycotoxin binders: T1 and T2. The present study evaluated moisture content, pH, swelling index, fineness, particle size distribution [In terms of geometric mean diameter (GMD) and geometric standard deviation (GSD)], and adsorption capacity. Complete randomized design (CRD) was used as the experimental design where, One-Way ANOVA was conducted to determine the differences between two binders. Moisture content ($P < 0.05$), pH ($P < 0.05$), swelling index ($P < 0.05$), fineness ($P < 0.05$), and adsorption capacity ($P < 0.05$) were differed between treatments. The moisture levels of both binders were within the recommended range, with T2 slightly closer to the optimum. T1 maintained pH within the acceptable range, while T2 slightly exceeded the upper limit. T2 revealed a significantly higher swelling index and adsorption capacity, indicating a greater adsorption potential. Both binders revealed high adsorption capacity (>200 mg MB/g), typical of activated bentonite adsorbents. Based on the F-test, the GMDs of both binders (GMD: T1=240.57 μ and T2=245.97 μ) were similar ($F = 1.022$; $P > 0.05$), indicating similar variability in particle size distribution. In conclusion, T2 demonstrates superior swelling and adsorption properties, while T1 excels in fineness and pH conformity. In overall, T2 presents a more effective profile as a mycotoxin binder for feed applications.

Keywords: Adsorption capacity, Feed additives, GMD, Mycotoxin binder, Particle size, Swelling index





Climate Smart Agricultural Practices Among Maize Farmers: Evidence from Osun State, Nigeria

Michael Famakinwa^{1*}, Abiodun Fafolarin Agboola¹, Abiodun Rukayat Fadodun¹,
Sunday Ismael Salawu¹, Olusola Sidikat Sadiku¹, and Enoch Oluwaseun Aliu¹

¹Department of Agricultural Extension and Rural Development, Obafemi Awolowo University, Ile-Ife, Nigeria.

Abstract

Background: Given the threat of climate change on agricultural productivity and livelihood of farmers, this study examined the impacts of climate change, perception of climate smart agricultural practices (CSAPs), CSAPs adopted by maize farmers and constraints that limit the adoption in Osun State, Nigeria.

Method: A multistage sampling procedure was employed to select 180 maize farmers from across the State. Structured interview schedule was used to collect quantitative data and analysed using percentage, mean, standard deviation, Chi-square and Pearson Product Moment correlation analyses.

Results: The result showed that the mean age of maize farmers was 49.31 ± 10.47 years, the majority were male (80.6%), married (78.9%), with a mean household size of 7 ± 3 members. 87.2% indicated that climate change negatively affected their maize production. Majority (82.2%) had moderate perception about climate smart agriculture practices. Crop Rotation (mean = 2.4), planting of disease resistant varieties (mean = 2.34), and crop diversification (mean = 2.28) were the Key CSA practices adopted by maize farmers. Lack of access to credit facilities (mean = 1.81), and high cost of farm input and resources (mean = 1.80) were the major barriers limiting adoption of CSA practices. Occupation ($\chi^2 = 22.750$) were significantly associated with adoption of CSA practices, while household size ($r = 0.54$), farm size ($r = 0.31$), perception ($r = 0.24$), and effect of climate change ($r = 0.46$) had significant correlation with adoption of CSA practices.

Conclusions: The study concluded that majority of maize farmers employed multiple CSA practices at high level, and recommended that government and relevant stakeholders should subsidize farm inputs and provide functional loans and credit facilities to enhance sustainable maize production in Nigeria.

Keywords: Climate change impact, Maize production, Climate Smart agricultural practices, Demographic influence, Constraints to climate smart agricultural practices, Maize farmers





Sustainable Management of the Invasive Alien Weed *Mimosa pudica* Through Vermicomposting: Impacts on Nutrient Enrichment, Earthworm Reproduction, and Crop Growth Performance

Sajid Al Azwad¹, Nazmul Hossain²

¹University of Chittagong, Chattogram-4331, Bangladesh

²Department of Soil Science, University of Chittagong, Bangladesh

Abstract

Introduction and Objectives: An experiment was conducted during the Rabi seasons of 2023 and 2024 at the Department of Soil Science, University of Chittagong, Bangladesh, to evaluate the nutrient status and earthworm fecundity of vermicompost produced from the invasive weed *Mimosa pudica* using *Eisenia fetida*, and its effects on the growth of Chinese cabbage (*Brassica rapa* var. *pekinensis*) and Radish (*Raphanus sativus*).

Method: Eighteen treatments (vermicompost, compost, and initial mixtures) were prepared using *Mimosa pudica* and three bulking materials at different ratios. Eight fertilizer treatments were used in a pot experiment. The soil was sandy loam with low fertility, and experiments ran from October 2023 to February 2024.

Results: Treatment T5 recorded the highest earthworm biomass (11.35 ± 2.53 g), indicating its suitability for vermicomposting. Vermicomposts had higher pH, EC, and nutrient concentrations (TKN, TAP, TK, TCa, TMg), and lower C/N ratios compared to composts and initial mixtures, confirming better maturity and quality. All of the fertilizer treatments made both crops grow much better. Most Chinese cabbage was grown in T5 (146 kg/ha), followed by T1 and T6. The treatment with plywood sawdust had the lowest yield, which suggests that it could be toxic. Radish, on the other hand, had the highest yield in TRFD (153.67 kg/ha), followed by T1, T2, and T5. This suggests that radish is less sensitive to sawdust toxicity. Compared to the control, all treatments caused a big increase in leaf area. For Chinese cabbage, T6 and T5 worked best, and for radish, T-RFD and T2 worked best. Overall, vermicompost made from *Mimosa pudica* greatly improved the quality of nutrients, the performance of earthworms, and the yield of crops.

Conclusion: The above findings indicate that vermicompost produced from the invasive alien weed *Mimosa pudica* improves the overall growth and yield of Chinese cabbage and Radish.

Keywords: Invasive alien weed, vermicompost, Chinese cabbage, Radish.

