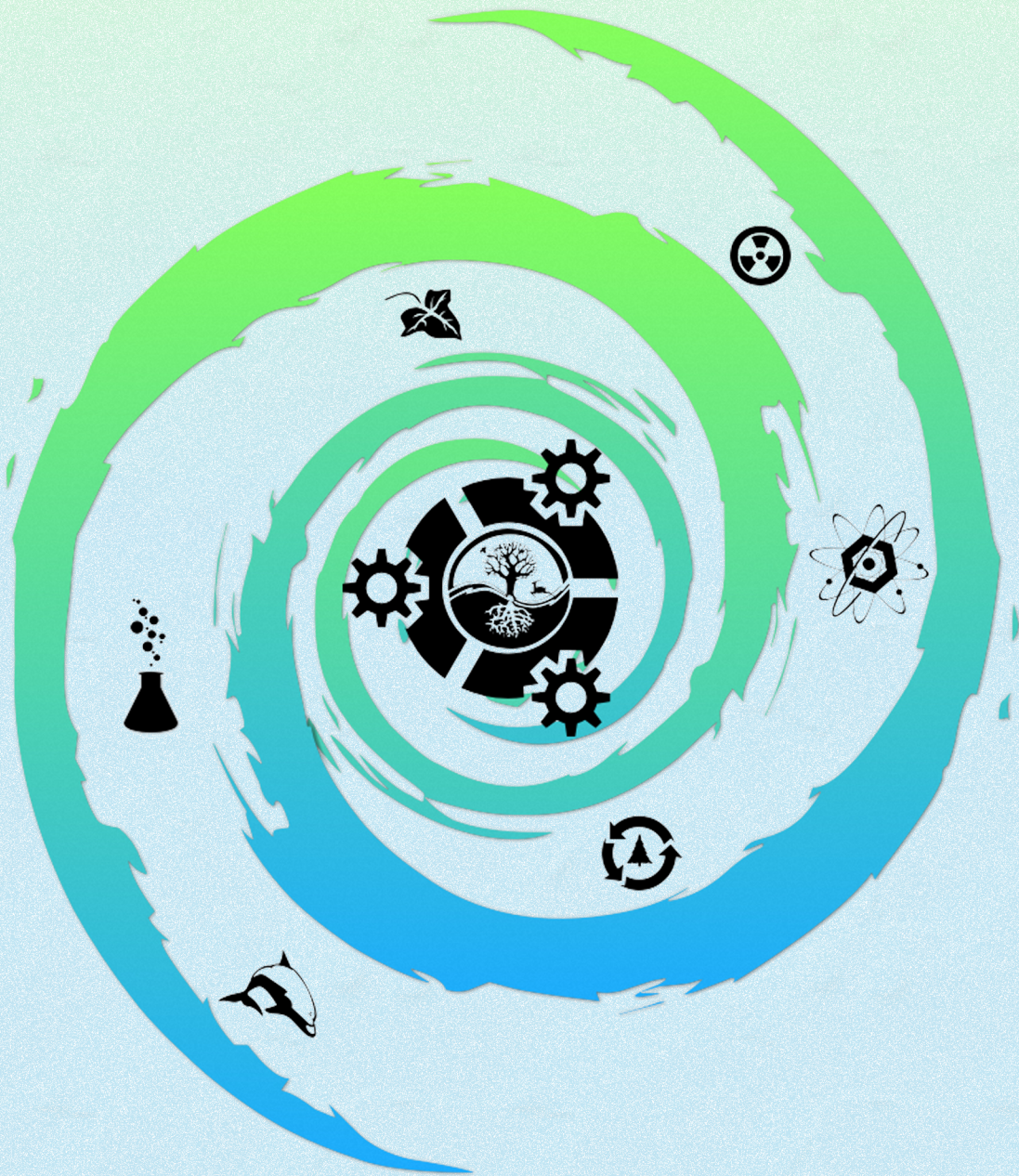




ACTA NATURA ET SCIENTIA

VOLUME: 6 ISSUE: 1 YEAR: 2025



e-ISSN: 2718-0638

www.actanatsci.com

EDITOR-IN-CHIEF

Musa Bulut *Çanakkale Onsekiz Mart University, Türkiye*

EXECUTIVE EDITOR

Semih Kale *Çanakkale Onsekiz Mart University, Türkiye*

SECTION EDITORS***Aquaculture***

Sefa Acarlı *Çanakkale Onsekiz Mart University, Türkiye*

Aysun Küçükdermenci *Ege University, Türkiye*

Nejdet Gültepe *Atatürk University, Türkiye*

Limnology & Freshwater Biology

Selçuk Berber *Çanakkale Onsekiz Mart University, Türkiye*

Fisheries & Marine Sciences

Deniz Acarlı *Çanakkale Onsekiz Mart University, Türkiye*

Hüseyin Özbilgin *FAO General Fisheries Commission for the Mediterranean (GFCM), Burgas, Bulgaria*

Biochemistry & Chemistry

Sezgin Çelik *Yıldız Technical University, İstanbul, Türkiye*

Bayram Kızılkaya *Çanakkale Onsekiz Mart University, Türkiye*

Agriculture

Fırat Alatürk *Çanakkale Onsekiz Mart University, Türkiye*

Yasemin Öner *Bursa Uludağ University, Türkiye*

STATISTICS EDITOR

Burcu Mestav *Çanakkale Onsekiz Mart University, Türkiye*

LANGUAGE EDITOR

Baboo Ali *Çanakkale Onsekiz Mart University, Türkiye*

EDITORIAL BOARD

Abdullah Suat Ateş	<i>Çanakkale Onsekiz Mart University, Türkiye</i>
Adem Yavuz Sönmez	<i>Kastamonu University, Türkiye</i>
Alper Doğan	<i>Ege University, Türkiye</i>
Altan Lök	<i>Ege University, Türkiye</i>
Arnold Rakaj	<i>University of Rome Tor Vergata, Italy</i>
Arya Vazirzadeh	<i>Shiraz University, Iran</i>
Aydın Demirci	<i>İskenderun Technical University, Türkiye</i>
Aynur Lök	<i>Ege University, Türkiye</i>
Aytaç Özgül	<i>Ege University, Türkiye</i>
Bahar Bayhan	<i>Ege University, Türkiye</i>
Bahri İzci	<i>Çanakkale Onsekiz Mart University, Türkiye</i>
Bilge Karahan	<i>Ege University, Türkiye</i>
Emel Özcan Gökçek	<i>Ege University, Türkiye</i>
Emrah Şimşek	<i>İskenderun Technical University, Türkiye</i>
Francesco Fazio	<i>University of Messina, Messina, Italy</i>
Gaetano Catanese	<i>IRFAP LIMIA (Laboratorio de Investigaciones Marinas y Acuicultura), Mallorca, Spain</i>
Halit Filiz	<i>Muğla Sıtkı Koçman University, Türkiye</i>
Harun Yıldız	<i>Çanakkale Onsekiz Mart University, Türkiye</i>
Hülya Saygı	<i>Ege University, Türkiye</i>
İhsan Çelik	<i>Çanakkale Onsekiz Mart University, Türkiye</i>
Katsuyuki Hamasaki	<i>Tokyo University of Marine Science and Technology, Minato-ku, Japan</i>
László Ardó	<i>HAKI Research Institute for Fisheries, Aquaculture and Irrigation, Szarvas, Hungary</i>
Lotfi Bensahla-Talet	<i>Université d'Oran1, Oran, Algeria</i>
Luca Grosso	<i>University of Rome Tor Vergata, Italy</i>
Mohamed S. Hassaan	<i>Benha University, Benha, Egypt</i>
Murat Özbek	<i>Ege University, Türkiye</i>
Pervin Vural	<i>Çanakkale Onsekiz Mart University, Türkiye</i>
Pınar Çelik	<i>Çanakkale Onsekiz Mart University, Türkiye</i>
Rıza Temizkan	<i>Çanakkale Onsekiz Mart University, Türkiye</i>
Robert Stéphane	<i>Ifremer (Retired), La Tremblade, France</i>
Salim Heddami	<i>Université 20 Août 1955-Skikda, Algeria</i>
Savaş Canbulat	<i>Kastamonu University, Türkiye</i>
Shigeki Dan	<i>Tokyo University of Marine Science and Technology, Minato-ku, Japan</i>
Sonya Uzunova	<i>Institute of Fish Resources, Varna, Bulgaria</i>
Subodha Kumar Karna	<i>ICAR - Indian Institute of Water Management, Bhubaneswar, India</i>
Süleyman Akhan	<i>Akdeniz University, Antalya, Türkiye</i>
Şule Gürkan	<i>Ege University, Türkiye</i>
Telat Yanık	<i>Atatürk University, Türkiye</i>
Tevfik Ceyhan	<i>Ege University, Türkiye</i>
Walter Leal Filho	<i>Hamburg University of Applied Sciences, Germany</i>
Yavuz Mazlum	<i>İskenderun Technical University, Hatay, Türkiye</i>
Yılmaz Emre (Deceased)	<i>Akdeniz University, Türkiye</i>
Yulia I. Gubelit	<i>Zoological Institute of Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia</i>

Acta Natura et Scientia is open access and peer-reviewed scientific journal that publishes high-quality papers in all aspects of nature and science throughout the world.

The aim of *Acta Natura et Scientia* is to contribute to the scientific literature by publishing the finest peer-reviewed researches in all aspects of nature and science depending upon their importance, originality, timeliness, interdisciplinary interests, and significant conclusions.

The publication languages of the journal are English and Turkish.

The journal accepts *Original Research Paper, Short Communication, Review, Case Report* in all aspects of nature and science.

The journal publishes 2 issues per year in June and December.

The double-blind peer-review process is maintained during the review processes.

More detail about *Aim & Scope* of the journal can be found at <https://prensipjournals.com/ojs/index.php/actanatsci/aim-scope>

AUTHOR GUIDELINES

More detail about *Author Guidelines* of the journal can be found at <https://prensipjournals.com/ojs/index.php/actanatsci/author-guidelines>

REVIEWER GUIDELINES

More detail about *Reviewer Guidelines* of the journal can be found at <https://prensipjournals.com/ojs/index.php/actanatsci/reviewer-guidelines>

REVIEW PROCESS

More detail about *Review Process* of the journal can be found at <https://prensipjournals.com/ojs/index.php/actanatsci/review-process>

FORMAT-FREE SUBMISSION POLICY

More detail about *Format-Free Submission Policy* of the journal can be found at <https://prensipjournals.com/ojs/index.php/actanatsci/format-free-submission-policy>

OPEN ACCESS POLICY

More detail about *Open Access Policy* of the journal can be found at <https://prensipjournals.com/ojs/index.php/actanatsci/open-access-policy>

PUBLICATION CHARGES

This journal has no publication charges or submission fees.

PUBLICATION ETHICS

More detail about *Publication Ethics* of the journal can be found at <https://prensipjournals.com/ojs/index.php/actanatsci/publication-ethics>

LICENSE

All published work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



Authors retain copyright and grant the journal right of first publication with the work simultaneously licensed under a [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) that allows others to share the work with an acknowledgement of the work's authorship and initial publication in this journal.

Authors are able to enter into separate, additional contractual arrangements for the non-exclusive distribution of the journal's published version of the work (e.g., post it to an institutional repository or publish it in a book), with an acknowledgement of its initial publication in this journal.

Authors are permitted and encouraged to post their work online (e.g., in institutional repositories or on their website) prior to and during the submission process, as it can lead to productive exchanges, as well as earlier and greater citation of published work (See [The Effect of Open Access](https://prensipjournals.com/ojs/index.php/actanatsci/gateway/lockss)).

The author as the copyright holder grants non-exclusive publishing rights to the publisher under CC-BY license.

ARCHIVING POLICY

More detail about *Archiving Policy* of the journal can be found at <https://prensipjournals.com/ojs/index.php/actanatsci/gateway/lockss>

INDEXING

Acta Natura et Scientia is indexed by "Biological Abstracts (Web of Science-Clarivate), Zoological Record (Web of Science-Clarivate), BIOSIS Citation Index (Web of Science-Clarivate), BIOSIS Previews (Web of Science-Clarivate), CAB Abstracts (CABI: Web of Science), Global Health (CABI: Web of Science), Nutrition Abs & Revs (CABI: Web of Science), Index Veterinarius (CABI: Web of Science), Soils & Fertilizers (CABI: Web of Science), Grasslands & Forage Abstracts (CABI: Web of Science), Veterinary Bulletin (CABI: Web of Science), Animal Breeding Abstracts (CABI: Web of Science), Plant Breeding Abstracts (CABI: Web of Science), World Agricultural Economics and Rural Sociology Abstracts (W.A.E.R.S.A.) (CABI: Web of Science), Horticultural Abstracts (CABI: Web of Science), Review of Aromatic & Medicinal Plants (CABI: Web of Science), Tropical Diseases Bulletin (CABI: Web of Science), Abstracts on Hygiene & Communicable Diseases (CABI: Web of Science), Agricultural Engineering Abstracts (CABI: Web of Science), Biofuels Abstracts (CABI: Web of Science), Ornamental Horticulture (CABI: Web of Science), Plant Growth Regulator Abstracts (CABI: Web of Science), Protozoological Abstracts (CABI: Web of Science), Seed Abstracts (CABI: Web of Science), Aquaculture and Fisheries Collection (CABI: Web of Science), Animal Science Collection (CABI: Web of Science), Environmental Impact Collection (CABI: Web of Science), Nutrition and Food Science Collection (CABI: Web of Science), VetMed Resource (CABI: Web of Science), Environment Index (EBSCO), Environment Complete (EBSCO), Central & Eastern European Academic Source - CEEAS (EBSCO), DOAJ, FAO AGRIS, Harvard University Library (Hollis), OpenAIRE Explore.



More detail about *Indexing* of the journal can be found at <https://prensipjournals.com/ojs/index.php/actanatsci/indexing>

PUBLISHER



Prensip Publishing and Consultancy Ind. Trade. Co. Ltd.
Kuzeykent Mah. Ogeneral Atilla Ateş Paşa Cad. No.15 CD, İç Kapı No:31
37150, Merkez, Kastamonu, Türkiye
info@prensip.gen.tr
prensip.gen.tr



T A B L E O F C O N T E N T S

R E S E A R C H A R T I C L E S

Preliminary Ecological Risk Assessment of Toxic Elements in Fish Cage Culture Sites within the Interconnected Epe and Badagry Lagoons, Nigeria <i>Oluwadamilola Ruth Ajiboye, Aderonke Omolara Lawal-Are, Amii Isaac Obiakara-Amaechi, Rasheed Olatunji Moruf</i>	1-11
Effect of Using Tobacco and Cloves Anesthesia in Fish Harvest on the Stress Parameters and Shelf Life of Rainbow Trout Fillet <i>Sirvan Broumand, Ali Parsakhaghah, Erkan Can, Şafak Seyhaneyıldız Can</i>	12-19
Assessment of Grain Color Parameters With Functional and SSR Markers in Bread Wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) <i>Sevilay Öztürk, Deniz İştıplıler, Fatma Aykut Tonk</i>	46-54
COVID-19 Impact on Public Health in Bangladesh: A Comprehensive Analysis of Morbidity, Mortality and Future Scenarios <i>Mostafa Essam Ahmed Eissa</i>	55-65
Seasonal Variation in Milk Yield and Milk Fat Content in Simmental Dairy Cattle: A Case Study of Member Farms of the Kastamonu Village Cooperatives Union <i>Simental Irkı Süt Sağırlarında Mevsimsel Süt Verimi ve Süt Yağ Oranı Değişimi: Kastamonu Köy-Kooperatifleri Birliği Üye İşletmeleri Örneği</i> <i>Özlem Ayan, Naci Tüzemen</i>	66-75
Effects of Different Nitrogen and Phosphorus Doses on Morphological Characteristics and Essential Oil of Mint (<i>Mentha spp.</i>) in Çanakkale Conditions <i>Çanakkale Koşullarında Farklı Azot ve Fosfor Dozlarının Nanede (<i>Mentha spp.</i>) Morfolojik Özellikler ve Uçucu Yağ Üzerine Etkileri</i> <i>Bahri İzci</i>	76-91

R E V I E W A R T I C L E S

Artificial Reefs From an Artistic Perspective <i>Sanatsal Bir Bakış Açısı ile Yapay Resifler</i> <i>İlhan Kaya, Muhammet Hanifi Zengin</i>	20-31
---	-------

S H O R T C O M M U N I C A T I O N

Eel-tailed Catfish Pituitary Gland: A Sustainable Alternative for Induced Spawning in African Catfish <i>Roy Villanueva</i>	32-36
Enhancing Process Efficiency in Industry Through Statistical Process Control: Study of Aspartyl Phenylalanine Methyl Ester <i>Mostafa Essam Eissa</i>	37-45



Preliminary Ecological Risk Assessment of Toxic Elements in Fish Cage Culture Sites within the Interconnected Epe and Badagry Lagoons, Nigeria

Oluwadamilola Ruth Ajiboye¹ • Aderonke Omolara Lawal-Are¹ • Amii Isaac Obiakara-Amaechi¹ • Rasheed Olatunji Moruf²

¹ University of Lagos, Faculty of Science, Department of Marine Sciences, Lagos State, Nigeria; druthajiboye@gmail.com; alawalare@gmail.com; awarushs@yahoo.com

² Bayero University, Faculty of Agriculture, Department of Fisheries and Aquaculture, Kano, Kano State, Nigeria, tunjmoruf@gmail.com

Corresponding Author: tunjmoruf@gmail.com

Please cite this paper as follows:

Ajiboye, O. R., Lawal-Are, A. O., Obiakara-Amaechi, A. I., & Moruf, R. O. (2025). Preliminary Ecological Risk Assessment of Toxic Elements in Fish Cage Culture Sites within the Interconnected Epe and Badagry Lagoons, Nigeria. *Acta Natura et Scientia*, 6(1), 1-11. <https://doi.org/10.61326/actanatsci.v6i1.322>

ARTICLE INFO

Article History

Received: 15.12.2024

Revised: 19.01.2025

Accepted: 03.02.2025

Available online: 28.02.2025

Keywords:

Aquatic ecosystems

Bioaccumulation

Cage culture

Contamination

Fish

ABSTRACT

The interconnected Epe and Badagry Lagoons in Nigeria are vital ecosystems supporting fish cage culture, but they may be at risk of toxic element contamination, posing threats to aquatic life and human health. This study conducted a preliminary ecological risk evaluation, focusing on arsenic, boron, selenium, silicon, and sulfur concentrations in water, sediment, and *Heteroclarias* tissues using standard analytical methods. Contamination levels and ecological risks were assessed using contamination factor (CF), enrichment factor (EF), bioaccumulation factor (BAF), and the index of geo-accumulation (Igeo). Sediment consistently showed the highest concentrations of all analyzed elements, with arsenic levels in Badagry Lagoon ($0.4426 \pm 0.0731 \text{ mg kg}^{-1}$) exceeding those in water and fish tissues, and a sediment-dominant pattern was observed for boron, selenium, silicon, and sulfur. Arsenic bioaccumulation factors in *Heteroclarias* from Epe Lagoon were significantly high (62.29 ± 0.36 for water and 1.26 ± 0.73 for sediment), while EF values for arsenic were highest in Badagry Lagoon (29.80), and selenium showed the highest EF in Epe Lagoon (224.64). Despite negative Igeo values indicating no significant sediment contamination, elevated arsenic concentrations and bioaccumulation in fish tissues raise potential health concerns for aquatic life and human consumers, emphasizing the need for regular monitoring and management strategies to mitigate toxic element contamination in the Lagos Lagoon system.

INTRODUCTION

Aquaculture has emerged as the fastest-growing and most diverse sector in global food production, with its worldwide output increasing over threefold from 34 million tons in 1997 to 112 million tons in 2017 (Naylor et al., 2021). Aquaculture accounts for approximately half of the global fish supply and is recognized as the fastest-growing segment in the food industry. Kaleem & Sabi (2021) highlight its significance as an essential agricultural practice capable of significantly addressing global nutritional deficiencies and effectively alleviating poverty. Consequently, it is positioned as a key solution, as it offers a sustainable and controlled way to produce seafood without putting further pressure on wild fish stocks.

The growing request for fish and its products has driven expansion of aquaculture practices, with cage culture systems being widely embraced for their high efficiency and productivity (Orinda et al., 2021). However, these activities often take place in natural water bodies, such as lagoons and rivers, where anthropogenic inputs, including industrial discharges, agricultural runoff, and urban waste, may introduce toxic elements into the aquatic environment. Despite its significance, aquatic environment is subject to varying degrees of environmental pressure from surrounding human activities, raising concerns about contamination and ecological risks.

Toxic elements, including arsenic, boron, selenium, silicon, and sulfur, pose significant risks because they persist in the environment, have the potential for bioaccumulation, and negatively impact aquatic ecosystems and human health (Raj & Maiti, 2020). Ecological risk assessments are essential tools for evaluating the potential hazards posed by these contaminants to aquatic ecosystems and the organisms within them. Preliminary studies help identify key risks, guide sustainable aquaculture practices, and inform regulatory policies aimed at preserving aquatic ecosystems like Lagoons.

The lagoons in Lagos play a dual role as a critical biodiversity hotspot and a major source of livelihood

for communities engaged in fishing and aquaculture (Moruf, 2022). However, the intensification of cage culture activities within the lagoons has coincided with increased anthropogenic pollution. According to Sonone et al. (2020), introduction of toxic elements into the aquatic environment poses significant ecological risks, including bioaccumulation in fish, disruption of food web dynamics, and potential human health hazards by consuming contaminated fish.

Earlier works indicate that different lagoons in Lagos, Nigeria have been contaminated with metals (Taiwo et al., 2019; Mustapha et al., 2021; Lawal-Are et al., 2021; Moruf, 2021). However, there is a paucity of data on the levels and ecological impact of toxic elements in cage culture sites within lagoon system in Nigeria (Ajiboye et al., 2024). This lack of information hinders the development of evidence-based management strategies and threatening region aquaculture sustainability practices. The study aims to conduct a preliminary ecological risk evaluation of toxic element contamination at fish cage culture site in Epe and Badagry Lagoons in Lagos, Nigeria. The study will evaluate selected toxic elements levels in environmental matrices and fish samples and assess their ecological risk levels. The outcomes of this research will promote the understanding of the environmental status of the lagoons in a better way, providing baseline data essential for policymakers, environmental managers, and aquaculture practitioners to implement sustainable practices and pollution control measures.

MATERIAL AND METHODS

Study Area

The Epe Lagoon (6°29' 6.38" N and 3° 35' 40" E) and Badagry Lagoon (6°25'45" N and 26°0'43" E) which are the locations of the study both fall within Lagos State, South Western region of Nigeria as seen in Figure 1. These two lagoons are connected and are part of the estuarine system that spans across the shores of Nigeria with its vast lagoons and creeks. Epe lagoon has an extent of 243 km² and an averaged depth of waters of around 1.80 meters (Olopade et al., 2015) to complement the information. The Badagry

lagoon is about the same distance from both entrances as we go into the lagoons of Cotonu and Lagos ports. On the southern border side is the Republic of Benin which turns into Niger delta with depth of the watery regions ranging between 1 to 3 m and stretch approximately 60 km in length and 3 km in breadth (Ndimele & Kumolu-Johnson, 2012). These lagoons assist in supporting fishing that is undertaken in Lagos state of the Nigeria and also serve as a transport network for timber logs and even passengers to various regions within the south western Nigeria. In this research each of the locations is around 1.5 km distance from each other.

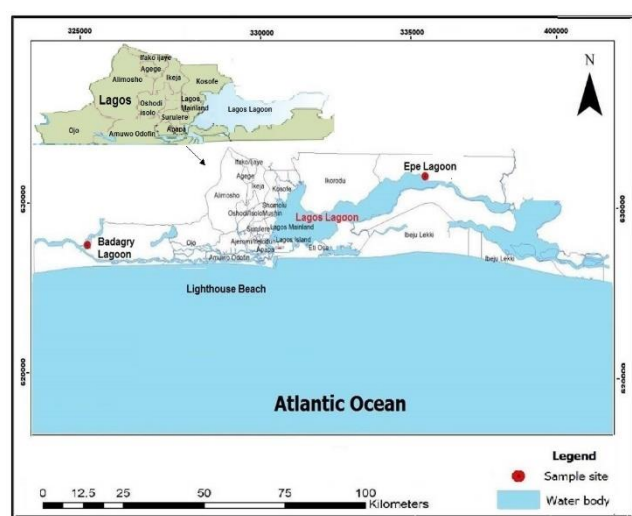


Figure 1. Map of Badagry and Epe Lagoons (adapted from Moruf, 2019)

Collection of Samples

Water, sediment and fish samples (*Heteroclaris*) collected every month from November 2023 to April 2024 which represented dry season. A total of twenty water samples were collected from six fish culture sites/sampling points in both lagoons. During the time of low tides, sediment samples were collected at the depths of 10-15 cm in the dry season. Each of the monthly water samples collected comprised of five 500 L samples collected at a geographical location together with water samples collected using two non-contaminated containers (5 mL) and concentrated HCl. Water, sediment and fish were also collected on the sites of the lagoons. All the samples were in good condition, marked and were put in sturdy plastic bottles, then stored at 20°C before being dispatched to the lab for tests.

Sample Preparation

In the laboratory, sediment samples were thawed by allowing them to sit at room temperature for approximately 24 hours. Subsequently, they were dried in an oven set at 40°C, disaggregated, and sieved using a 200 µm mesh sieve, as outlined by Gilli et al. (2018). The sieved material was then homogenized using a porcelain mortar and re-sieved. About 5 g of the homogenized sediment was placed into Teflon tubes, where 5 mL of aqua regia (prepared as a 3:1 mixture of concentrated hydrochloric acid [37%, TraceMetal™, Fisher Scientific, USA] and concentrated nitric acid [69%, TraceMetal™, Fisher Scientific, USA]) was added for digestion in accordance with the ISO 11466 method (Pueyo et al., 2001).

For tissue samples, approximately 1 g was precisely weighed using a scale with a decimal resolution of 0.001 g. These samples were digested with a mixture of 5 mL concentrated nitric acid (65%, TMA, Hiperpure, PanReac, Spain) and 3 mL of 30% hydrogen peroxide (Hiperpure, PanReac, Spain) in a microwave-assisted digestion system (Ethos Plus; Milestone, Sorisole, Italy). The digested solutions were then transferred to polypropylene tubes and diluted to 15 mL with ultrapure water (18.2 MΩ·cm, Milli-Q, Merck, Germany).

Elemental concentrations were quantified using an inductively coupled plasma mass spectrometer (ICP-MS, Thermo Scientific, Germany), following the protocol by Dussubieux & Van Zelst (2004). The ICP-MS settings included a radiofrequency power of 1.3 kW, plasma gas flow rate of 13 L min⁻¹, auxiliary gas flow rate of 0.7 L min⁻¹, nebulizer gas flow rate of 0.87 L min⁻¹, peak jump scan mode, dwell time of 10 ms, and three readings per repetition. Reagent blanks were processed alongside each batch of 10 samples. Stable isotopes such as ⁷²Ge, ¹⁰³Rh, and ²⁰⁵Tl, at a concentration of 50 µg L⁻¹, were added to both calibration standards and sample solutions as internal standards.

Total mercury content was measured using a cold vapor atomic absorption spectrometer (CVAAS, with Zeeman correction, Lumex RA-915+, Russia). The accuracy of the analysis was assessed with the

certified reference material DORM-3 (fish protein certified reference material for trace metals, NRCC, Canada), based on recovery rates of the analyzed elements.

Ecological Risk Assessment

The ecological risk was evaluated by calculating three indices: the contamination factor (CF), the enrichment factor (EF), and the geo-accumulation index (I_{geo}).

Contamination Factor (CF)

It is based on the method proposed by Hakanson (1980), was determined as the ratio of the concentration of a specific element in surface sediment to its average global concentration in the earth's crust (Eq. 1):

$$CF = \frac{C_{pollutant}}{C_{background}} \quad (1)$$

where:

$C_{pollutant}$: Concentration of the pollutant in the environment (sediment).

$C_{background}$: Reference or background concentration of the pollutant.

CF values were categorized as follows:

- Low contamination: $CF < 1$
- Moderate contamination: $1 \leq CF < 3$
- Considerable contamination: $3 \leq CF < 6$
- High contamination: $CF \geq 6$

Enrichment Factor (EF)

It is calculated using the method described by Sinex & Helz (1981), utilized iron (Fe) as the reference element for normalization (Eq. 2):

$$EF = \left(\frac{C_m}{C_{ref}} \right)_{sample} / \left(\frac{C_m}{C_{ref}} \right)_{background} \quad (2)$$

where:

C_m : Concentration of the metal of interest in the sediment sample.

C_{ref} : Concentration of a reference element i.e., Fe.

$\left(\frac{C_m}{C_{ref}} \right)_{sample}$: Ratio of the metal to the reference element in the sample

$\left(\frac{C_m}{C_{ref}} \right)_{background}$: Ratio of the metal to the reference element in a background (uncontaminated) environment, often using pre-industrial levels or a reference site.

Interpretation of EF values:

- $EF \approx 1$: Indicates primarily natural origins.
- $EF > 1$: Suggests anthropogenic influence, classified as:
 - Minor enrichment: $1 \leq EF < 2$
 - Moderate enrichment: $2 \leq EF < 5$
 - Significant enrichment: $5 \leq EF < 20$
 - Very high enrichment: $20 \leq EF < 40$
 - Extremely high enrichment: $EF \geq 40$

Geo-accumulation Index (I_{geo})

The Geo-accumulation Index, developed by Müller (1969), was employed to assess sediment contamination relative to global shale values (Eq. 3):

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1.5B_n} \right) \quad (3)$$

where C_n : the measured concentration of the element in the sediment;

B_n : the geochemical background value; and the constant 1.5 is introduced to analyze natural variations of the background values in the environment and to detect a minimal human-made impact.

I_{geo} values were categorized as follows:

- $I_{geo} \leq 0$: Uncontaminated
- $0 < I_{geo} \leq 1$: Uncontaminated to moderately contaminated
- $1 < I_{geo} \leq 2$: Moderately contaminated
- $2 < I_{geo} \leq 3$: Moderately to heavily contaminated
- $3 < I_{geo} \leq 4$: Heavily contaminated

- $4 < \text{Igeo} \leq 5$: Heavily to extremely contaminated
- $\text{Igeo} > 5$: Extremely contaminated

Data Analysis

Statistical analyses were conducted using SPSS software (version 20.0). Differences in element concentrations among water, sediment, and fish samples were evaluated using Duncan's multiple range test. Statistical significance was established at $P < 0.05$.

RESULTS

Toxic Elemental Level in Water, Sediment and Cage-Cultured Fish

Toxic element levels in water, sediment, and *Heteroclaris* harvested from a caged culture system in Epe Lagoon is presented in Table 1. The sediment exhibited the highest concentrations of arsenic ($0.3537 \pm 0.1318 \text{ mg kg}^{-1}$), which were significantly greater than those found in water ($0.0071 \pm 0.0026 \text{ mg L}^{-1}$) and *Heteroclaris* ($0.2390 \pm 0.0902 \text{ mg kg}^{-1}$). Similarly, boron levels were most pronounced in sediment ($0.1375 \pm 0.0242 \text{ mg kg}^{-1}$), whereas concentrations in water ($0.0027 \pm 0.0005 \text{ mg L}^{-1}$) and *Heteroclaris* ($0.0038 \pm 0.0008 \text{ mg kg}^{-1}$) were considerably lower. Selenium

was also predominantly concentrated in sediment ($0.1540 \pm 0.0446 \text{ mg kg}^{-1}$), surpassing the amounts observed in water ($0.0031 \pm 0.0009 \text{ mg L}^{-1}$) and *Heteroclaris* ($0.0015 \pm 0.0006 \text{ mg kg}^{-1}$). In the case of silicon, sediment showed markedly elevated levels ($22.4595 \pm 6.0508 \text{ mg kg}^{-1}$) compared to water ($0.4492 \pm 0.1210 \text{ mg L}^{-1}$) and *Heteroclaris* ($2.0699 \pm 0.6158 \text{ mg kg}^{-1}$). Sulfur concentrations, although relatively low across all samples, were still highest in sediment ($0.0333 \pm 0.0105 \text{ mg kg}^{-1}$), significantly exceeding those in water ($0.0007 \pm 0.0002 \text{ mg L}^{-1}$) and *Heteroclaris* ($0.0006 \pm 0.0004 \text{ mg kg}^{-1}$).

Table 2 presents the concentrations of the five toxic elements in water, sediment, and *Heteroclaris* from a caged culture system in Badagry Lagoon. Arsenic concentrations were highest in sediment ($0.4426 \pm 0.0731 \text{ mg kg}^{-1}$) and comparatively lower in water ($0.0089 \pm 0.0015 \text{ mg L}^{-1}$) and fish tissues ($0.3001 \pm 0.0589 \text{ mg kg}^{-1}$). Boron levels followed a pattern similar to arsenic, with the highest concentrations in sediment ($0.1830 \pm 0.0372 \text{ mg kg}^{-1}$) and lower levels in water ($0.0037 \pm 0.0007 \text{ mg L}^{-1}$) and fish tissue ($0.0047 \pm 0.0007 \text{ mg kg}^{-1}$). However, the differences between sediment and other matrices were not significant ($P > 0.05$). All other elements exhibited highest significant level in sediment.

Table 1. Concentration of toxic elements in water, sediment and farmed fish harvested from caged culture site in Epe Lagoon

Elements	Water (mg L^{-1})	Sediment (mg kg^{-1})	<i>Heteroclaris</i> (mg kg^{-1})
Arsenic	0.0071 ± 0.0026^a (0.0015-0.0159)	0.3537 ± 0.1318^b (0.0735-0.7946)	0.2390 ± 0.0902^a (0.0359-0.5702)
Boron	0.0027 ± 0.0005^a (0.0012-0.0043)	0.1375 ± 0.0242^b (0.0615-0.2145)	0.0038 ± 0.0008^a (0.0013-0.0065)
Selenium	0.0031 ± 0.0009^a (0.0010-0.0070)	0.1540 ± 0.0446^b (0.0500-0.3486)	0.0015 ± 0.0006^a (0.0003-0.0042)
Silicon	0.4492 ± 0.1210^a (0.0983-0.8065)	22.4595 ± 6.0508^b (4.9141-40.3237)	2.0699 ± 0.6158^a (0.2746-4.7177)
Sulfur	0.0007 ± 0.0002^a (0.0000-0.0010)	0.0333 ± 0.0105^b (0.0000-0.0500)	0.0006 ± 0.0004^a (0.000-0.0018)
WHO (2017) recommended level in water	As (0.01 mg L^{-1}) B (2.4 mg L^{-1}) Si (0.04 mg L^{-1}), Se and S (Not available)		

Note: Mean \pm Standard Dev.; values with different superscripts across row are significantly different at $P < 0.05$. Arsenic (As), Boron (B), Selenium (Se), Silicon (Si), Sulfur (S)

Table 2. Concentration of toxic elements in water, sediment and farmed fish harvested from caged culture site in Badagry Lagoon

Elements	Water (mg L ⁻¹)	Sediment (mg kg ⁻¹)	<i>Heteroclaris</i> (mg kg ⁻¹)
Arsenic	0.0089±0.0015 ^a (0.0036-0.0139)	0.4426±0.0731 ^b (0.1817-0.6935)	0.3001±0.0589 ^b (0.0819-0.4977)
Boron	0.0037±0.0007 ^a (0.0025-0.0073)	0.1830±0.0372 ^{ab} (0.1260-0.3638)	0.0047±0.0007 ^a (0.0027-0.0075)
Selenium	0.0020±0.0010 ^a (0.0010-0.0070)	0.1007±0.0496 ^b (0.0500-0.3486)	0.0008±0.0003 ^a (0.0003-0.0021)
Silicon	1.2441±0.5842 ^a (0.3623-4.1333)	62.2032±0.208 ^b (18.113-206.667)	4.8635±0.4987 ^a (1.0123-11.550)
Sulfur	0.3512±0.3502 ^a (0.0010-2.1020)	17.5587±17.5087 ^b (0.0500-105.102)	0.0012±0.0004 ^a (0.0000-0.0018)
WHO (2017) recommended level in water	As (0.01 mg L ⁻¹) B (2.4 mg L ⁻¹) Si (0.04 mg L ⁻¹), Se and S (Not available)		

Note: Mean±Standard Dev.; values with different superscripts across row are significantly different at $P < 0.05$. Arsenic (As), Boron (B), Selenium (Se), Silicon (Si), Sulfur (S)

Table 3. Bio-water accumulation factor (toxic elements) of *Heteroclaris* harvested from caged culture system in Lagos, Nigeria

Elements	Epe Lagoon	Badagry Lagoon	<i>P-value</i>
Arsenic	62.29±0.36	33.41±0.42	0.02*
Boron	1.50±0.35	1.35±0.12	0.18
Selenium	0.65±0.28	0.46±0.08	0.06
Silicon	5.37±0.65	5.03±0.24	0.10
Sulfur	0.60±0.38	0.90±0.40	0.50

Note: Mean±Standard Dev.; * significantly different at $P < 0.05$

Table 4. Bio-sediment accumulation factor (toxic elements) of farmed fish species harvested from caged culture system in Lagos, Nigeria

Elements	Epe Lagoon	Badagry Lagoon	<i>P-value</i>
Arsenic	1.26±0.73	0.67±0.08	0.06
Boron	0.03±0.01	0.03±0.00	0.52
Selenium	0.01±0.01	0.01±0.00	0.56
Silicon	0.11±0.03	0.10±0.02	0.60
Sulfur	0.01±0.01	0.02±0.00	0.50

Note: Mean±Standard Dev.; * significantly different at $P < 0.05$

Table 5. Ecological risk assessment (toxic elements) of caged culture system in Lagos, Nigeria

Elements	Contamination Factor		Enrichment Factor		Index of Geo-accumulation	
	<i>Epe</i>	<i>Badagry</i>	<i>Epe</i>	<i>Badagry</i>	<i>Epe</i>	<i>Badagry</i>
Arsenic	0.02721	0.03405	23.8123	29.7973	-5.784804	-5.461327
Boron	0.00138	0.00183	1.2034	1.6016	-10.091315	-9.678903
Selenium	0.25667	0.16783	224.6356	146.8884	-2.546995	-3.159861
Silicon	0.00031	0.00085	0.2693	0.7458	-12.251317	-10.781654
Sulfur	0.00001	0.00732	0.0121	6.4031	-16.722115	-7.679667

Bio-Accumulation Factors of Toxic Elements in Caged-Culture Fish

The bio-water accumulation factor (BWAf) and bio-sediment accumulation factor (BSAf) for the five toxic elements in *Heteroclarias* are shown in Tables 3 and 4, respectively. Only the BWAf for arsenic was significantly higher in *Heteroclarias* from Epe Lagoon (62.29 ± 35.79) compared to Badagry Lagoon (33.41 ± 4.24) ($P = 0.02$). The BSAf for arsenic was higher in Epe Lagoon (1.26 ± 0.73) than in Badagry Lagoon (0.67 ± 0.08), with the difference approaching statistical significance ($P = 0.06$). The BSAf values for boron, selenium, silicon, and sulfur were consistently low across both lagoons.

Ecological Risk Assessment of Toxic Elements in Sediment from Cage Culture

Table 5 provides the ecological risk indices, including the contamination factor (CF), enrichment factor (EF), and index of geo-accumulation (Igeo), for the five elements. Arsenic had the highest CF values, with 0.03405 in Badagry Lagoon and 0.02721 in Epe Lagoon. Boron, selenium, silicon, and sulfur exhibited much lower CF values (<0.26), indicating minimal contamination. Selenium had the highest EF in both lagoons, particularly in Epe Lagoon (224.64). Arsenic also showed substantial enrichment, with EF values of 23.81 in Epe Lagoon and 29.80 in Badagry Lagoon. Boron, silicon, and sulfur demonstrated much lower EF values (<7). All the elements had negative Igeo values across both lagoons, indicating no significant sediment contamination. Arsenic exhibited the highest Igeo values among the elements (-5.46 in Badagry Lagoon and -5.78 in Epe Lagoon), while sulfur in Epe Lagoon had the lowest Igeo value (-16.72).

DISCUSSION

The findings on the toxic elemental concentration reveal clear distinctions between environmental compartments and the farmed fish. The concentration in sediment is substantially higher than in water and *Heteroclarias*. The significantly elevated levels in sediment ($P < 0.05$) align with sediment's role as a sink for metals, binding metal through adsorption and

precipitation (Usese et al., 2018). While boron, selenium, silicon, and sulfur are essential for the human body in trace amounts, exceeding their recommended limits in water or diet can pose health risks (WHO, 2017). Arsenic is purely toxic and should be strictly monitored. The low elemental concentrations in water imply limited mobility, and hence, minimal risk of immediate bioavailability, except in circumstances where environmental changes might release these metalloids into the water (Hauser-Davis & Wosnick, 2022). Similar trends have been reported by Usese et al. (2020), who observed elevated arsenic accumulation in sediments from contaminated tropical Lagoon in Nigeria. Sediments serve as a reservoir for heavy metals because of their strong association with organic matter and fine particles (Moruf et al., 2022).

Only the bio-water accumulation factor (BAF) for arsenic was significantly higher in *Heteroclarias* from Epe Lagoon compared to Badagry Lagoon, indicating a greater propensity for bioaccumulation in fish from Epe Lagoon. The elevated BAF values observed at both locations reflect arsenic's strong affinity for biological tissues, consistent with findings by Usese et al. (2019) and Zhang et al. (2022), who documented similar trends in aquatic systems influenced by anthropogenic pollution. The higher arsenic bioaccumulation in Epe Lagoon can be attributed to environmental factors influencing arsenic mobility and bioavailability. Sediment composition, particularly the organic matter content, plays a critical role in arsenic binding and release. Sediments with higher organic matter content, such as those found in Epe Lagoon, can adsorb arsenic under oxidizing conditions but release it under reducing conditions, enhancing bioavailability (Usese et al., 2020). This is compounded by the redox potential in the lagoon, which can shift between oxidizing and reducing states due to variations in water flow and oxygen levels, thereby influencing arsenic speciation and its subsequent uptake by aquatic organisms (Hussain et al., 2019).

Additionally, trophic interactions may further explain the elevated arsenic levels in *Heteroclarias*. As an omnivorous species, *Heteroclarias* may consume both benthic prey and particulate organic matter from

sediments, which are primary reservoirs of arsenic. Studies have shown that arsenic biomagnifies in food webs where sediments act as a significant source of contamination, particularly in ecosystems impacted by anthropogenic activities such as agriculture, wastewater discharge, and industrial runoff (Sarker et al., 2022). The higher anthropogenic pressure on Epe Lagoon compared to Badagry Lagoon may explain the elevated arsenic concentrations in the biota. The lack of significant differences in the bio-sediment accumulation factor (BSAF) for arsenic and other elements between the two lagoons suggests that arsenic bioaccumulation in *Heteroelarias* is primarily driven by direct uptake from the water column rather than sediment ingestion alone. This aligns with findings by Verma et al. (2023), who highlighted the importance of aqueous arsenic speciation and its interactions with organic and inorganic ligands in determining bioaccumulation patterns.

Arsenic had the highest contamination factor (CF) values among the elements. These values, though relatively low, indicate a slight contamination. Similar low CF values for arsenic have been reported in other tropical aquatic systems (Ahamad et al., 2020), where natural sources contribute predominantly to arsenic levels. The low CF for sulfur in Epe Lagoon suggests negligible sediment contamination, likely due to sulfur's reduced mobility under anaerobic conditions, as noted by Rahim et al. (2021). Selenium had the highest enrichment factor (EF) in both lagoons, particularly in Epe Lagoon, highlighting significant anthropogenic inputs. High selenium enrichment is often linked to industrial discharges and agricultural runoff. Boron, silicon, and sulfur demonstrated much lower EF values, indicating their concentrations are primarily influenced by natural geochemical processes rather than human activities. All the elements had negative index of geo-accumulation (Igeo) values across both lagoons, indicating no significant sediment contamination. Arsenic exhibited the highest Igeo values among the elements, suggesting minimal arsenic accumulation in sediments. The negative Igeo values for all elements differ from the findings of Audu et al. (2022) with positive Igeo values in sediment pollution indices from Niger State water bodies in Nigeria.

CONCLUSION

This study aimed to evaluate the ecological risks associated with toxic elements, including arsenic, boron, selenium, silicon, and sulfur, in fish cage culture sites within the interconnected Epe and Badagry Lagoons, Nigeria. The objective was to assess their concentrations, enrichment levels, and potential ecological impacts using contamination factor (CF), enrichment factor (EF), and the index of geo-accumulation (Igeo). The findings highlight selenium as the most ecologically significant element, with higher anthropogenic contributions, particularly in Epe Lagoon. While the ecological risk assessment reveals notable enrichment for selenium and arsenic, the low CF and negative Igeo values indicate that sediment contamination remains minimal in both lagoons. However, the high EF for selenium underscores the importance of addressing potential anthropogenic sources to prevent long-term ecological risks. To mitigate potential ecological and public health threats, it is recommended to implement regular monitoring programs for selenium and other elements, particularly in regions with high anthropogenic activities. These efforts will help manage contamination sources and safeguard the ecosystems and communities reliant on the lagoons.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to acknowledge the efforts of Mr Monday Akapo and Mrs Grace Oluwole on samplings and laboratory analysis.

Compliance with Ethical Standards

Authors' Contributions

ORA: Conceptualization, Conducted the survey, Writing – review & editing.

AOL: Supervision, Investigation,

AIO: Investigation, Methodology.

ROM: Manuscript design, Writing – original draft, Formal Analysis.

All authors read and approved the final manuscript.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

Ethical Approval

For this type of study, formal consent is not required.

Funding

Not applicable.

Data Availability

The data that support the findings of this study are available from the corresponding author on request.

AI Disclosure

The authors confirm that no generative AI was used in writing this manuscript or creating images, tables, or graphics.

REFERENCES

- Ahamad, M. I., Song, J., Sun, H., Wang, X., Mehmood, M. S., Sajid, M., & Khan, A. J. (2020). Contamination level, ecological risk, and source identification of heavy metals in the hyporheic zone of the Weihe River, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), 1070-1078. <https://doi.org/10.3390/ijerph17031070>
- Ajiboye, O. R., Lawal-Are, A. O., & Obiakara-Amaechi, A. O. (2024). Trace metal contaminant in two fish species from Epe Lagoon (Southwest Nigeria): Health risk assessment. *Transylvanian Review of Systematical and Ecological Research*, 26(3), 71-80. <https://doi.org/10.2478/trser-2024-0018>
- Audu, Y., Aliyu, A. D., & Dadi-Mamud, N. J. (2022). Evaluation of heavy metals contamination in the sediments of some selected water of south senatorial district of Niger State, Nigeria. *Science World Journal*, 17(4), 487-494.
- Dussubieux I., & Van Zelst I. (2004) LA-ICP-MS analysis of platinum group elements and other elements of interest in ancient gold. *Applied Physics A*, 79, 353–356. <https://doi.org/10.1007/s00339-004-2532-2>
- Gilli R., Karlen C., Weber M., Rüegg J., Barmettler K., Biester H., Boivin P., & Kretzschmar R. (2018). Speciation and mobility of mercury in soils contaminated by legacy emissions from a chemical factory in the Rhône valley in Canton of Valais, Switzerland. *Soil System*, 2(3), 44-53. <https://doi.org/10.3390/soilsystems2030044>
- Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control: A sedimentological approach. *Water Research*, 14(8), 975-1001. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(80\)90143-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90143-8)
- Hauser-Davis, R. A., & Wosnick, N. (2022). Climate change implications for metal and metalloid dynamics in aquatic ecosystems and its context within the decade of ocean sciences. *Water*, 14(15), 2415. <https://doi.org/10.3390/w14152415>
- Hussain, M. M., Bibi, I., Shahid, M., Shaheen, S. M., Shakoob, M. B., Bashir, S., Younas, F., Rinklebe, J., & Niazi, N. K. (2019). Biogeochemical cycling, speciation and transformation pathways of arsenic in aquatic environments with the emphasis on algae. In A. C. Duarte & V. Reis (Eds.), *Comprehensive Analytical Chemistry Handbook, Volume 85: Arsenic Speciation in Algae* (pp. 15-51). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.coac.2019.03.007>
- Kaleem, O., & Sabi, A. (2021). Overview of aquaculture systems in Egypt and Nigeria, prospects, potentials, and constraints. *Aquaculture and Fisheries*, 6(6), 535–547. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2020.07.017>
- Lawal-Are, A. O., Moruf, R. O., Sobara, U. J., & Salami, K. B. (2021). Relationship between mercury concentration in water, bottom sediment and two mollusc species (*Crassostrea gasar* and *Tympanotonus fuscatus*) from a Lagos creek in Nigeria. *Journal of Bio-Science*, 29(1), 143-151. <https://doi.org/10.3329/jbs.v29i0.54830>
- Moruf, R. O. (2019). Bio-ecology, immuno-histochemistry, and genetic heterogeneity of portunid species from coastal waters of Lagos State, Nigeria. [Ph.D. Thesis. University of Lagos].

- Moruf, R. O. (2021). Metallic bioaccumulation in *Sesarma huzardii* (Decapoda: Sesarmidae) from two estuarine creeks under different anthropogenic influences. *Polish Journal of Natural Science*, 36(3), 271-282.
- Moruf, R. O. (2022). Seasonal heterogeneity and health risk assessment of metal contaminant in *Callinectes amnicola* from Epe Lagoon, Southwest, Nigeria. *Journal Material and Environmental Science*, 13(1), 29-41.
- Moruf, R. O., Abubakar, M. I., Obiaka-Amaechi, A. I., Sani, I. M., & Akpan, I. I. (2022). Metal content and oxidative stress enzymes in aquatic crab, *Goniopsis cruentata* (Latreille, 1802) from tropical creeks adjacent western axis of the Lagos Lagoon. *Tropical Journal of Natural Product Research*, 6(1), 161-166. <https://doi.org/10.26538/tjnpr/v6i1.26>
- Muller, G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*, 2, 108-118.
- Mustapha, A. M., Ugya, A. Y., & Mustapha, Z. (2021). Assessment of heavy metal levels in fish tissues, water and sediment from Epe lagoon, Lagos, Nigeria. *Science World Journal*, 16(4), 464-469.
- Naylor, R. L., Hardy, R. W., Buschmann, A. H., Bush, S. R., Cao, L., Klinger, D. H., & Troell, M. (2021). A 20-year retrospective review of global aquaculture. *Nature*, 591(7851), 551-563. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03308-6>
- Ndimele, P. E., & Kumolu-Johnson, C. A. (2012). Some aspect of the physico-chemistry and heavy metal contents of water, sediment and *Cynothrissa mento* (Regan, 1917) from Badagry Creek, Lagos, Nigeria. *Trend in Applied Science Research*, 7 (9), 724-736.
- Olopade O. A., Taiwo I. O., & Ogunbanwo A. E. (2015). Length-weight relationship and condition factor of *Leuciscus niloticus* (De Joahhis, 1853) from Epe Lagoon, Lagos, Nigeria. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 32(3), 165-168. <https://doi.org/10.12714/egejfas.2015.32.3.07>
- Orinda, M., Okuto, E., & Abwao, M. (2021). Cage fish culture in the Lake Victoria region: Adoption determinants, challenges and opportunities. *International Journal of Fisheries and Aquaculture*, 13(2), 45-55. <https://doi.org/10.5897/IJFA2020.0798>
- Pueyo M., Rauret G., Luck D., Yli-Halla M., Muntau H., Quevauviller P., & López-Sánchez F. J. (2001). Certification of the extractable contents of Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn in a freshwater sediment following a colaboratively tested and optimised three-steps sequential extraction procedure. *Journal of Environmental Monitoring*, 3, 243-250. <https://doi.org/10.1039/b010235k>
- Rahim, H. U., Qaswar, M., Wang, M., Jing, X., & Cai, X. (2021). Environmental applications of reduced sulfur species and composites in transformation and detoxification of contaminants. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(6), 106696. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122670>
- Raj, D., & Maiti, S. K. (2020). Sources, bioaccumulation, health risks and remediation of potentially toxic metal (loid) s (As, Cd, Cr, Pb and Hg): An epitomised review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(2), 108. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-8060-5>
- Sarker, A., Kim, J. E., Islam, A. R. M. T., Bilal, M., Rakib, M. R. J., Nandi, R., Rahman, M. M., & Islam, T. (2022). Heavy metals contamination and associated health risks in food webs—a review focuses on food safety and environmental sustainability in Bangladesh. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(3), 3230-3245. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17153-7>
- Sinex, S., & Helz, G. (1981). Regional geochemistry of trace elements in Chesapeake Bay sediments. *Environmental Geology*, (6), 315-323. <https://doi.org/10.1007/BF02473521>
- Sonone, S. S., Jadhav, S., Sankhla, M. S., & Kumar, R. (2020). Water contamination by heavy metals and their toxic effect on aquaculture and human health through food Chain. *Letters in Applied NanoBioScience*, 10(2), 2148-2166. <https://doi.org/10.33263/LIANBS102.21482166>

- Taiwo, I. O., Olopade, O. A., & Bamidele, N. A. (2019). Heavy metal concentration in eight fish species from Epe Lagoon (Nigeria). *Transylvanian Review of Systematical and Ecological Research*, 21(1), 69-82.
- Usese, A. I., Chukwu, L. O., Naidu, R., Islam, S., & Rahman, M. M. (2020). Arsenic fractionation in sediments and speciation in muscles of fish, *Chrysichthys nigrodigitatus* from a contaminated tropical Lagoon, Nigeria. *Chemosphere*, 256, 127134. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127134>
- Usese, A. I., Elike, M. I., Moruf, R. O., & Chukwu, L. O. (2019). Levels of oxidative stress markers in the mangrove oyster, *Crassostrea gasar* from a coastal ecosystem in Southwest Nigeria. *Journal of Research in Forestry, Wildlife and Environment*, 11(1), 32-38.
- Usese, A. I., Lawal-Are, A. O., Moruf, R. O., & Chukwu, L. O. (2018). Biomarker responses to environmental stressors in the hairy mangrove crab, *Sesarma huzardii* (Graspidae) from a Tropical Lagoon Mudflat in Nigeria. *Alexandria Journal of Veterinary Sciences*, 57(1), 4-10. <https://doi.org/10.5455/ajvs.291903>
- Verma, N., Kanojia, N., Kalra, S., & Dua, K. (2023). Chemical speciation of chromium and arsenic and biogeochemical cycle in the aquatic system. In S. Madhav, V. B. Singh, M. Kumar & S. Singh (Eds.), *Hydrogeochemistry of Aquatic Ecosystems* (pp. 155-179). John Wiley & Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119870562.ch7>
- WHO. (2017). World Health Organization guidelines for drinking-water quality: First addendum to the fourth edition. World Health Organization.
- Zhang, W., Miao, A. J., Wang, N. X., Li, C., Sha, J., Jia, J., & Ok, Y. S. (2022). Arsenic bioaccumulation and biotransformation in aquatic organisms. *Environment International*, 163, 107221. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107221>



Effect of Using Tobacco and Cloves Anesthesia in Fish Harvest on the Stress Parameters and Shelf Life of Rainbow Trout Fillet

Sirvan Broumand¹ • Ali Parsakhaghah¹ • Erkan Can² • Şafak Seyhaneyıldız Can³

¹ Islamic Azad University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Health and Aquatic Diseases, Sanandaj, Iran; sirvanbroumand70@gmail.com; a.parsa@iausdj.ac.ir

² Izmir Katip Celebi University, Faculty of Fisheries, Department of Aquaculture, Izmir, Türkiye; erkan.can@ikcu.edu.tr

³ Dokuz Eylul University, Institute of Marine Sciences and Technology, Department of Marine Technology, Izmir, Türkiye; safak.seyhaneyildizcan@deu.edu.tr

✉ Corresponding Author: a.parsa@iausdj.ac.ir

Please cite this paper as follows:

Broumand, S., Parsakhaghah, A., Can, E., & Seyhaneyıldız Can, Ş. (2025). Effect of Using Tobacco and Cloves Anesthesia in Fish Harvest on the Stress Parameters and Shelf Life of Rainbow Trout Fillet. *Acta Natura et Scientia*, 6(1), 12-19. <https://doi.org/10.61326/actanatsci.v6i1.342>

ARTICLE INFO

Article History

Received: 06.08.2024

Revised: 28.01.2025

Accepted: 06.02.2025

Available online: 28.02.2025

Keywords:

Rainbow trout

Clove

Tobacco

Stress parameters

Fillet shelf life

A B S T R A C T

In this survey, we compare the effect of two anesthetics, clove and tobacco, on the harvest stress and quality of rainbow trout fillet kept at 4°C for 7 days. The fish sample groups (weighed 200 g) included a control, a group anesthetized with clove (750 mg/l) and a group anesthetized with tobacco (800 mg/l). The results showed that anesthesia with tobacco and clove significantly affects blood lactate and glucose ($p < 0.05$). Fish anesthetized with clove showed less stress during harvesting. Also, the amount of glucose and lactate in their blood was less than those anesthetized with tobacco. There were also some significant changes in Thiobarbituric acid (TBA) and Total Volatile Basic Nitrogen (TVB-N) parameters during the storage of samples in the fridge. The lowest amount of Thiobarbituric acid, Total Volatile Basic Nitrogen, mesophilic, and psychrophilic bacteria during the survey belonged to samples treated with clove. The results also suggest that the fish anesthetized with clove stayed fresh longer in the fridge.

INTRODUCTION

Seafoods are rich in proteins, fat-soluble vitamins, and omega-9 polyunsaturated fatty acids, which are very important in the human diet, in preventing and controlling many diseases and helping to the improvement of various disorders and complications (Perez-Alonso et al., 2004). In many Asian countries, seafood has an important role in people's food basket

and more than 50% of animal protein is provided by eating fish (Arannilewa et al., 2005). However, the susceptibility of fish meat to post-mortem changes and the high perishability of these products compared to other meat products on the one hand, and the increasing people's awareness about the quality of food products on the other hand, make it necessary to pay more attention to the storage and correct processing of these products (Romiani &

Khosravizadeh, 2017). Many factors such as species, size, temperature, physical conditions, methods of catching, processing, and storage affect the shelf life of fish meat during storage (Chytiri et al., 2004). Meanwhile, the methods of catching and killing can play a significant role in changing the quality of fish. The killing of fish by releasing in a dry environment and suffocation, which is accompanied by a lot of struggles, causes severe physiological changes like reduction of adenosine triphosphate in muscle and liver, and an increase in lactic acid in the fish body. Therefore, such activities which cause severe physiological changes before the death of the fish, can lead to the shortening of the time to complete the rigor mortis process and cause qualitative changes in the processed product (Maeda et al., 2014). Before harvesting, stress affects blood and tissue indices. Stressors stimulate the central nervous system, and as a result, the hypothalamic-pituitary-internal axis is activated and releases cortisol and catecholamines into the bloodstream (Stoskopf & Posner, 2008). Cortisol causes hyperglycemia during stress. Also, more energy accumulation and consumption increase muscle activity, anaerobic glycolysis, and plasma lactate (Stoskopf & Posner, 2008).

The quality loss of fish meat after slaughter includes changes in the color and texture, including fragmentation and softening of muscles, weakening of muscle fibers, and changes in water-holding capacity (Erikson & Misimi, 2008). The studies show that increasing the stress and activity of fish at the time of death reduces the quality of fish and creates a suitable environment for the growth of bacteria in the fish after death (Gokoglu et al., 2004). For this reason, reducing fishing stress is one of the important concerns of the aquaculture industry. Efforts are being made to ensure that killing the fish, which is one of the most important stages affecting the quality of fish meat, is done properly. Several methods are used to prevent the intense movements of fish during the fishing process, one of which is the use of anesthetic chemical compounds (Maeda et al., 2014). Nicotine and related alkaloids found in tobacco are generally known as narcotics, and due to the low cost of tobacco and its extensive cultivation in different countries, it can be a suitable option for anesthetizing fish (Agokei &

Adebisi, 2010). The effect of cloves as an anesthetic on reducing the cortisol level and stress response in rainbow trout has been proven (Sink et al., 2007).

So, by considering the cost of chemical drugs and their side effects on some chemical parameters of the fish body, the importance of anesthesia before harvesting, and the use of sustainable methods in aquaculture, the aim of this study was the usage of suitable herbal drugs as an alternative to chemical compounds, to anesthetize the fish in a better way before harvesting.

MATERIAL AND METHODS

In this study, 30 healthy rainbow trout (weighed 200 ± 5 g), were randomly selected and divided into 3 groups: control, treatment 1 (clove (*Eugenia aromatica*) powder 750 mg/l), and treatment 2 (tobacco (*Nicotiana rustica*) powder 800 mg/l). After anesthetizing the fish with clove and tobacco extracts, all of them were caught by the suffocation method. Immediately after the death, blood samples were taken from the heart and after coagulation were centrifuged at 10,000 rpm for 10 minutes. The amounts of glucose and lactate in the serum were measured with the commercial kits (Pars Azmoon Company) and auto-analyzer (model Alycon 300, United States) (Lacerda et al., 2009). Then the fish meat was kept in the refrigerator at 4°C for 7 days and the changes in thiobarbituric acid (TBA) and total volatile nitrogen (TVB-N) parameters were measured during storage (AOAC, 2002). For the microbiological test, the skin of the fish was separated in an aseptic condition. After preparing serial dilutions, the total number of mesophilic bacteria and psychrotrophic bacteria were determined by pour plate method in Plate count agar medium (Merk) after incubation at 37°C for 48 hours for mesophilic bacteria and 7°C for 10 days for psychrotrophic bacteria (Salari-Joo et al., 2012). Statistical analysis was done using Minitab 16 software. After examining the normality, data were analyzed by one-way ANOVA followed by Tukey's multiple comparisons test. A p-value less than 0.05 was determined as a significant difference.

RESULTS

According to the results, the lactate level in the serum of control samples was significantly higher than the treatment groups ($p < 0.05$). Also, the lactate level in the blood of fish anesthetized with clove was lower than those anesthetized with tobacco (Figure 1).

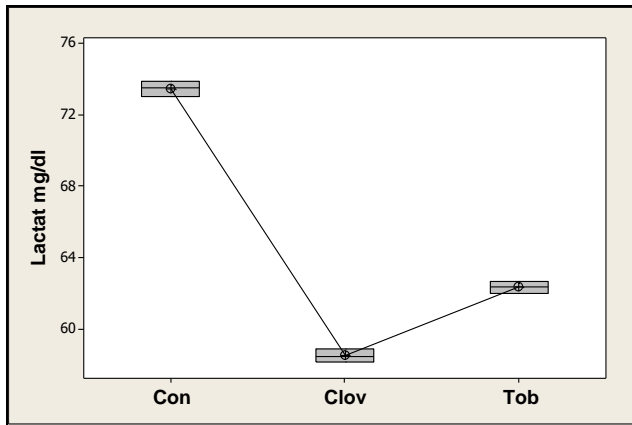


Figure 1. Comparison of plasma lactate in different groups (Con=Control, Clov=Clove, Tob=Tobacco)

In addition, there was a significant difference between the level of plasma glucose in the control and the treatment groups ($p < 0.05$), and the level of glucose in the blood of control samples was the highest. The reduction of glucose level in the case of samples treated with cloves was more than that of samples treated with tobacco (Figure 2).

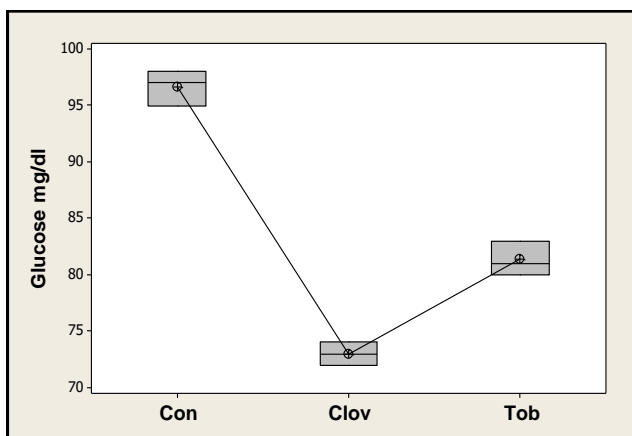


Figure 2. Comparison of plasma glucose in different groups

The results of TBA showed an increasing trend from day 1 to day 7. The amount of TBA in the control sample on the first day was significantly higher than the clove sample ($p < 0.05$), but its difference with the tobacco sample was not significant ($p > 0.05$). On the fourth day, there was no significant difference

between the TBA values in the control and tobacco groups, and despite the apparent difference, there was no significant difference ($p > 0.05$) in the case of the clove and control groups. On the seventh day, there was a significant difference between the amount of TBA in the control and cloves, but no significant difference was observed with tobacco. Therefore, it can be concluded that anesthesia of fish can reduce the TBA value during fish meat storage and compared to tobacco, clove has a better effect on TBA reduction (Figure 3).

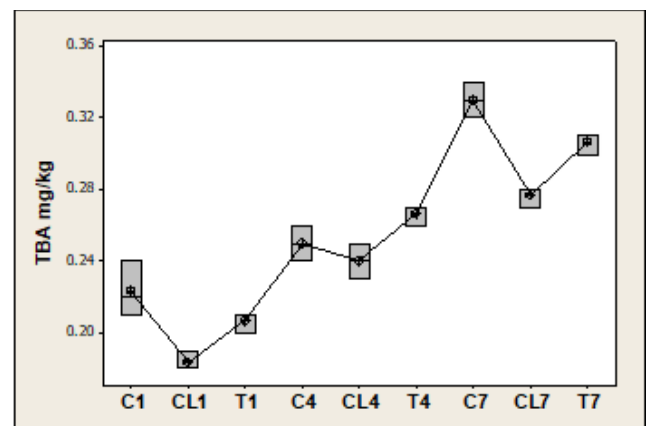


Figure 3. Comparison of TBA values of fish meat samples in groups (C=control, CL=cloves, T=tobacco, 1=1st day, 4=4th day, 7=7th day)

According to the results of the TVB-N test, its value has increased from day 1 to day 7. The amount of TVB-N on the first day in the control sample was significantly different from the clove and tobacco samples ($p < 0.05$). On the fourth and 7th days of meat storage, a significant difference was observed between TVB-N values in the control group and the clove and tobacco groups ($p < 0.05$). It can be concluded that anesthetizing fish before harvesting can reduce the amount of TVB-N production during meat storage and clove compared to tobacco has a better effect in reducing TVB-N value (Figure 4).

The results of microbial count showed that the number of mesophilic bacteria increased from day 1 to 7, but this increase in the groups treated with cloves and tobacco was significantly less than the control group. The lowest number of mesophilic bacteria was seen in the group treated with clove (Figure 5).

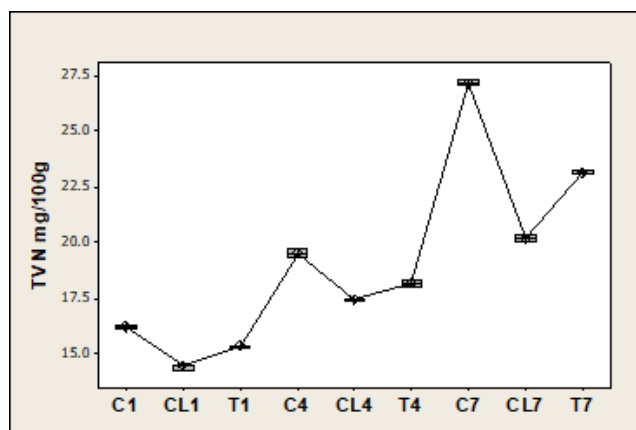


Figure 4. Comparison of TVB-N values of fish meat samples in groups (C=control, CL=cloves, T=tobacco, 1=1st day, 4=4th day, 7=7th day)

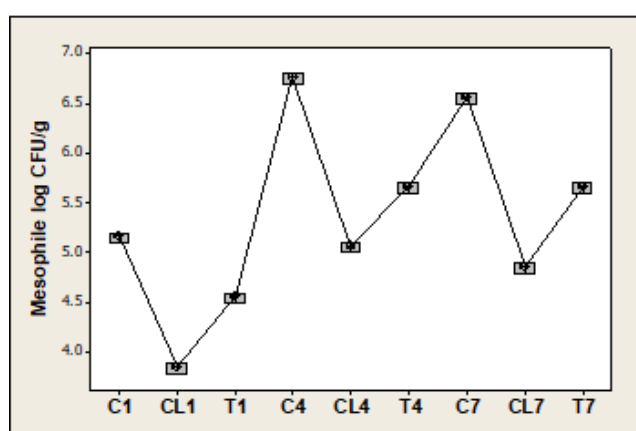


Figure 5. Changes in mesophilic bacteria number in fish meat samples during storage (C=control, CL=cloves, T=tobacco, 1=1st day, 4=4th day, 7=7th day)

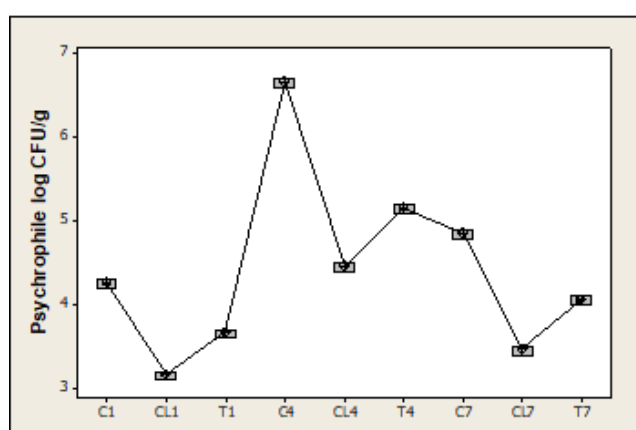


Figure 6. Changes in psychrophilic bacteria number in fish meat samples during storage (C=control, CL=cloves, T=tobacco, 1=1st day, 4=4th day, 7=7th day)

The number of psychrophilic bacteria also increased from day 1 to 4 but then decreased in day 7.

This decrease, in the case of cloves and tobacco was significantly more than the control group. The best result in the reduction of psychrophilic bacteria in day 7 was for samples treated with clove (Figure 6).

DISCUSSION

Currently, because of the possibility of the negative impact of chemical anesthetics and sedatives on fish, their use has decreased (Summerfelt & Smith, 1990). So, essential oils/extracts of different plants have been studied for fish anesthesia. Most of these plants belong to Lamiaceae, Verbenaceae, Lauraceae, and Myrtaceae. In addition, menthol, linalool, myrcene, cineole, globulol, spathulenol, guaial, caryophyllene oxide, terpinene-4-ol, and dehydrofukinone are herbal compounds that their anesthetic effects have been studied in fish. All tested herbal materials compared with clove oil and eugenol (the most common herbal anesthetic) are less efficacious to anesthetize fish (Hoseini et al., 2019). Between the herbal plants, tobacco and cloves have more stated criteria for a suitable anesthetize. In addition, since tobacco and clove extracts are plant compounds, it is expected to be easily decomposed in the environment and have no adverse environmental effects, also in comparison to chemical drugs, they are more available and can be provided at a cheaper price (Marking & Meyer, 1985). Our study showed the effectiveness of these plants on fish anesthetic and fish meat quality.

According to the results, there was a significant difference in lactate level in serum between the control and the treatment groups ($p < 0.05$). The highest amount of lactate was related to control samples and the lowest amount was in treatments anesthetized with cloves. In fact, by anesthetizing the fish with cloves and tobacco before catching, the level of stress in fish can be reduced and this leads to a decrease in blood lactate. The effect of clove on lowering the lactate level was greater than tobacco. In another study, Stress blood indicators in the asphyxia group were significantly higher than other two groups and the control group that this is the same as the data presented in the experiment expressed that fish of the group received clove oil had significantly higher quality and less stress response than other groups (Rahmanifarah et al., 2010).

According to the results, the highest amount of glucose in serum was related to the control samples and then samples treated with tobacco. The fish that were anesthetized with clove had the lowest amount of glucose in the serum. It can be said that by anesthetizing the fish before catching, the stress level of the fish reduced and this led to a decrease in blood glucose. This result is in accordance with another study that examined the stress response of anesthesia and some quality indicators of common carp. In their study, the lowest amount of glucose corresponds to the samples treated with cloves, also the group that received clove oil had significantly higher quality and less stress response than the ice group (Moini et al., 2011).

The results showed that in all samples, the TBA value increased from day 1 to day 7. This may be due to an increase in free iron and peroxides in the muscle. Aldehydes can be produced as a secondary oxidation product from the breakdown of hydroperoxides, which can be a reason for the increasing trend of hydroperoxides (de Azevedo Gomes et al., 2003). However, the TBA index may not express the real degree of oxidation and these reactions change to a great extent according to fish species (Aubourg, 2000). Our results also showed that during storage there was no significant difference in the TBA value of the control sample and samples treated with tobacco but clove had a better influence on reducing TBA value and the amount of TBA in samples treated with clove was lowest among other samples. Studies have shown that the conditions before the slaughter of fish significantly affect the TBA content of meat, which confirms the trend of changes in the results of this study (Lago et al., 2010).

Our study showed an increasing trend in TVB-N value in all samples. According to other studies, during the storage period of fish meat in the refrigerator, a significant increase in the TVB-N content was observed (Duran et al., 2008). TVB-N is mainly produced by the decomposition of proteins and non-protein nitrogenous compounds by bacterial and enzymatic activities. The increase in this factor during storage can be related to the increase in the microbial load of meat (Gram & Huss, 1996). Our results also showed that during storage TVB-N value

in the control sample was significantly ($p < 0.05$) higher than in samples treated with clove and tobacco. In fact, anesthetizing fish before harvesting by clove and tobacco due to their antimicrobial effect reduces TVB-N production during meat storage. Compared to tobacco, clove had better reduction influence. Antimicrobial effects can affect the amount of TVB-N production and keep it at an acceptable level (30 mg/100 g) for fish meat (Özyurt et al., 2009). The values obtained for TVB-N in this study were consistent with the results of other researchers (Ojagh et al., 2010).

In all samples, the number of mesophilic bacteria increased from day 1 to 7. Fish meat has a low amount of carbohydrates and a small amount of lactic acid which are factors that influence the growth of spoilage bacteria. On the other hand, the presence of non-protein nitrogenous compounds such as free amino acids and nucleotides has turned fish meat into a suitable substrate for the growth of microorganisms (Gram & Huss, 1996). According to our results, the increase in the mesophilic bacteria in groups treated with cloves and tobacco was significantly less than the control group, and the lowest number of mesophilic bacteria was seen in group treated with clove. Cloves and tobacco also had an effect on the number of psychrophilic bacteria and the influence of clove on the reduction of psychrophilic bacteria was greater than tobacco. In fact, because of the anesthetic property of cloves, at the time of death, fish activity decreases and the quality of the final product becomes higher than the control treatment. In cases where anesthesia is not applied, increasing the stress and activity of the fish at the time of death will provide a suitable environment for the growth and multiplication of bacteria in the fish body after death, and the quality of the fish will decrease and spoilage will occur sooner (Gokoglu et al., 2004).

Traditional medicines based on plant extracts have been extensively utilized in humans and animals as remedies to control diseases. Their constituents have antibacterial, antifungal, antioxidant, anti-inflammatory, anthelmintic, and digestive medicinal properties. As aquaculture fish are intended for human consumption, it is important to search for new compounds that besides having anesthetic potential

increase the safety of their products. Anesthetic agents are compounds that are widely used to ensure fish welfare, reduce stress and avoid inflicting pain during handling and health interventions. As interest in natural anesthetic products has increased, essential oils and extracts derived from medicinal plants due to their low cost, easy accessibility, efficacy, and environmental safety can be alternative options for fish anesthesia. So, it is necessary to search for new natural compounds with commercial interest and anesthetic effects (Golomazou et al., 2016).

CONCLUSION

In this study, the experiments conducted on the biochemical factors of blood serum in rainbow trout showed that the stress and also the amount of glucose and lactate in the samples anesthesia with clove were lower and the quality of fish samples during storage was better. In fact, spoilage indices like TBA, total volatile nitrogenous bases, psychrophilic and mesophilic bacteria had the lowest amount in clove-treated samples and after clove, tobacco had the best result in fish quality. So, due to the characteristics of these two plants such as availability, low cost, compatibility with the environment, safety for human consumption compared to chemical substances, and sustainability in aquaculture, they can be considered as effective and desirable aesthetic substances for keeping the quality of fish meat during storage.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study is a part of DVM thesis of the second author. We acknowledge the IAU for the support of this research.

Compliance with Ethical Standards

Authors' Contributions

SB: Investigation, Writing – original draft, Methodology

AP: Conceptualization, Supervision

EC: Formal Analysis, Writing – review & editing

ŞSC: Writing – review & editing

All authors read and approved the final manuscript.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

Ethical Approval

All applicable international, national, and/or institutional guidelines for the care and use of animals were followed. The IAU Ethics Committee has approved the research with 1403/30 ethical approval number on February 22, 2025.

Funding

Not applicable.

Data Availability

The data that support the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

AI Disclosure

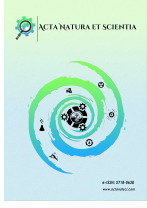
The authors confirm that no generative AI was used in writing this manuscript or creating images, tables, or graphics.

REFERENCES

- Agokei, O. E., & Adebisi, A. A. (2010). Tobacco as an anesthetic for fish handling procedures. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(14), 1396-1399.
- AOAC. (2002). *Official methods of analysis of the Association of the official Analysis Chemists*. Association of Official Analytical Chemists (14th ed.), Washington, DC.
- Arannilewa, S. T., Salawu, S. O., Sorungbe, A. A., & Ola-Salawu, B. B. (2005). Effect of frozen period on the chemical, microbiological and sensory quality of frozen tilapia fish (*Sarotherodon galiaenus*). *African Journal of Biotechnology*, 4(8), 852-855. <https://doi.org/10.5897/AJB2005.000-3171>
- Aubourg, S. P. (2000). Assessment of antioxidant effectiveness on thermally treated marine Lipids by fluorescence detection. *European Food Research and Technology*, 211, 310-315. <https://doi.org/10.1007/s002170000163>

- Chytiri, S., Chouliara, I., Savvaidis, I. N., & Kontominas, M. G. (2004). Microbiological, chemical and sensory assessment of iced whole and filleted aquaculture rainbow trout. *Food Microbiology*, 21(2), 157–165. [https://doi.org/10.1016/S0740-0020\(03\)00059-5](https://doi.org/10.1016/S0740-0020(03)00059-5)
- de Azevedo Gomes, H. A., da Silva, E. N., do Nascimento, M. R. L., & Fukuma, H. T. (2003). Evaluation of the 2-thiobarbituric acid method for the measurement of lipid oxidation in mechanically deboned gamma irradiated chicken meat. *Food Chemistry*, 80(3), 433-437. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00499-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00499-5)
- Duran, A., Erdemli, U., Karakya, M., & Yilmaz, T. M. (2008). Effects of slaughter methods on physical, biochemical and microbiological quality of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* and mirror carp *Cyprinus carpio* filleted in pre-, in- or post-rigor periods. *Fisheries Science*, 74(5), 1146-1156. <https://doi.org/10.1111/j.1444-2906.2008.01634.x>
- Erikson, U., & Misimi, E. (2008). Atlantic salmon skin and fillet color changes effected by perimortem handling stress, rigor mortis, and ice storage. *Journal of Food Science*, 73(2), 50-59. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00617.x>
- Gokoglu, N., Yerlikaya, P., & Cengiz, E. (2004). Effects of cooking methods on the proximate composition and mineral contents of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Food Chemistry*, 84(1), 19-22. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00161-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00161-4)
- Golomazou, E., Malandrakis, E. E., Kavouras, M., Karatzinos, T., Miliou, H., Exadactylos, A., & Panagiotaki, P. (2016). Anaesthetic and genotoxic effect of medicinal plant extracts in gilthead seabream (*Sparus aurata* L.). *Aquaculture*, 464, 673-682. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.08.017>
- Gram, L., & Huss, H. H. (1996). Microbiological spoilage of fish and fish products. *International Journal of Food Microbiology*, 33(1), 121-137. [https://doi.org/10.1016/0168-1605\(96\)01134-8](https://doi.org/10.1016/0168-1605(96)01134-8)
- Hoseini, S. M., Taheri Mirghaed, A., & Yousefi, M. (2019). Application of herbal anaesthetics in aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 11(3), 550-564. <https://doi.org/10.1111/raq.12245>
- Khosravizadeh M., & Romiani, L. (2019). Comparing chemical composition, textural and color properties of (*Acanthopagrus morrisoni*) under modified atmosphere packaging at -18°C, *Journal of Marine Science and Technology*, 17(4), 10-21. <https://doi.org/10.22113/jmst.2017.50241>
- Lacerda, L. A., Oliveira, S. T., Pedralli, V., & González, F. H. D. (2009). Glucose and Lactate in Canine Serum and NAF/EDTA-NA₂ Plasma samples: Implications of storage time. *World Small Animal Veterinary Association World Congress Proceedings*, São Paulo, Brazil.
- Lago, H., Pena, J., & Aubourg, S. P. (2010). Effect of Slaughtering conditions on Lipid damage of chilled farmed turbot (*Psetta maxima*) muscle. *Grasas Y Aceites*, 61(3), 312-320. <https://doi.org/10.3989/gya.123009>
- Maeda, T., Yaguchi, S., Fukushima, H., Harada, K., & Fukuda, Y. (2014). Post-catch fish handling for high quality fish products. *Journal of National Fisheries University*, 62(4), 155-158.
- Marking, L. L., & Meyer, F. P. (1985). Are better anesthetics needed in fisheries? *Fisheries*, 10(6), 2-5. [https://doi.org/10.1577/1548-8446\(1985\)010%3C0002:ABANIF%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8446(1985)010%3C0002:ABANIF%3E2.0.CO;2)
- Moini, S., Mouloudi, Z., & Shabanpour, B. (2011). Effects of stunning by ice and clove oil, and asphyxia on stress responses and quality indicators in common carp (*Cyprinus carpio*). *Journal of Fisheries*, 64(2-2), 153-162.
- Ojagh, S. M., Rezaei, M., Razavi, S. H., & Hosseini, S. V. (2010). Effect of chitosan coatings enriched with cinnamon oil on the quality of refrigerated rainbow trout. *Food Chemistry*, 120(1), 193-198. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.10.006>
- Özyurt, G., Kuley, E., Özkütük, S., & Özogul, F. (2009). Sensory, microbiological and chemical assessment of the freshness of red mullet (*Mullus barbatus*) and goldband goatfish (*Upeneus moluccensis*) during storage in ice. *Food Chemistry*, 114(2), 505-510. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.078>

- Perez-Alonso, F., Aubourg, S.P., Rodriguez, O., & Barros-Velazquez, J. (2004). Shelf life extension of Atlantic pomfret (*Brama brama*) fillets by packaging under a vacuum-skin system. *Journal of Food Research Technological*, 218, 313-317. <https://doi.org/10.1007/s00217-003-0831-z>
- Rahmanifarah, K., Moloodi, Z., Moini, S., Shabanpour, B., Shabani, A., & Imanpour, M. R. (2010). Effects of CO₂, clove oil stunning procedure and asphyxia on meat quality in common carp (*Cyprinus carpio*). *Journal of Veterinary Research*, 65(4), 301-306.
- Salari-Joo, H., Kalbassi, M. R., & Abdollahzadeh, E. (2012). Effect of silver nanoparticles on bacterial flora of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) skin. *Journal of Oceanography*, 3(11), 83-90.
- Sink, T. D., Strange, R. J., & Sawyers, R. E. (2007). Clove oil used at lower concentrations is less effective than ms-222 at reducing cortisol stress responses in anesthetized rainbow trout. *North American Journal of Fisheries Management*, 27(1), 156-167. <https://doi.org/10.1577/M05-103.1>
- Stoskopf, M., & Posner, L. M. (2008). Anesthesia and restraint of laboratory fish. In R. E. Fish, M. J. Brown, P. J. Danneman & A. Z. Karas (Eds.), *Anesthesia and analgesia in laboratory animals* (pp. 519-533). Academic press. <https://doi.org/10.1016/B978-012373898-1.50025-5>
- Summerfelt, R. C., & Smith, L.S. (1990). Anaesthetic surgery and related Techniques. In C. B. Shreck & P. B. Moyle (Eds.), *Methods for biology* (pp. 213- 237). American Fisheries Society.



Sanatsal Bir Bakış Açısı ile Yapay Resifler

İlhan Kaya¹ • Muhammet Hanifi Zengin²

¹ Atatürk University, Faculty of Fine Art, Department of Sculpture, Erzurum, Türkiye, ilhankaya888@gmail.com

² Kafkas University, Kazım Karabekir Technical Sciences Vocational School, Department of Architecture and Urban Planning, Architectural Restoration Program, Kars, Türkiye, muhammethanzengin@hotmail.com

✉ Corresponding Author: ilhankaya888@gmail.com

Please cite this paper as follows:

Kaya, İ., & Zengin, M. H. (2025). Sanatsal Bir Bakış Açısı ile Yapay Resifler. *Acta Natura et Scientia*, 6(1), 20-31.
<https://doi.org/10.61326/actanatsci.v6i1.323>

MAKALE BİLGİSİ

Makale Geçmişi

Geliş: 17.12.2024

Düzeltilme: 24.03.2025

Kabul: 25.03.2025

Çevrimiçi Yayınlanma: 28.03.2025

Anahtar Kelimeler:

Yapay resif

Sanat

Heykel

Su altı müzesi

Dalış turizmi

Ö Z E T

Yapay resifler, deniz ekosistemlerini restore etmek, biyoçeşitliliği artırmak ve sürdürülebilir bir çevre oluşturmak için geliştirilen yenilikçi ve insanoğlunun son yüzyılda bulduğu en önemli buluştur. Yapay resiflerin su ortamında yaşayan türlerin devamlılığı, sürdürülebilir balıkçılık faaliyetleri ve çevresel etkilerinin yanı sıra açıkça gözlemlenebilen sosyo-ekonomik faydaları vardır. Yapay resif oluşturulurken kullanılacak malzemenin, dayanıklılığının uzun süreli olması, toksik maddeler bulundurmaması ve ekonomik olması gibi bir takım özel standartları olmasının yanında yenilikçi ve farklı bakış açıları ile geliştirilmiş olması ekosisteme katkı sağlayabileceği gibi insan hayatına da dokunabilecektir. Bu bağlamda nötr pH sağlayan beton türleri ve geri dönüştürülebilir malzemelerin kullanımı, projelerin çevresel etkisini azaltabileceği gibi disiplinler arası iş birliğine dayalı yapay resif projeleri, sanatın insan ve doğa arasındaki ilişkiyi güçlendirme potansiyelini daha da artıracaktır. Böylece hem ekosistemlerin korunmasına hem de insanları çevresel sürdürülebilirliğe teşvik eden bir bilinç yaratmaya hizmet edebilecektir. Ayrıca yapay resiflerin sanatsal, ekolojik ve toplumsal faydalarının bir araya getirildiği projeler, gelecekte çevresel koruma ve kültürel üretim arasında daha güçlü bağlar kurulması için ilham kaynağı olacaktır.

Artificial Reefs from an Artistic Perspective

ARTICLE INFO

Article History

Article History

Received: 17.12.2024

Revised: 24.03.2025

Accepted: 25.03.2025

Available online: 28.03.2025

Keywords:

Artificial reef

Art

Sculpture

Underwater museum

Diving tourism

A B S T R A C T

Artificial reefs are the most innovative and important invention of mankind in the last century, developed to restore marine ecosystems, increase biodiversity, and create a sustainable environment. Artificial reefs have observable socio-economic benefits in addition to the continuity of species living in the aquatic environment, sustainable fishing activities, and environmental effects. In addition to the special standards of the material to be used when creating an artificial reef, such as long-term durability, not containing toxic substances, and being economical, being developed with innovative and different perspectives can contribute to the ecosystem and touch human life. In this context, using concrete types that provide neutral pH and recyclable materials can reduce the environmental impact of projects, and artificial reef projects based on interdisciplinary collaboration will further increase the potential of art to strengthen the relationship between humans and nature. Thus, it can serve both the protection of ecosystems and the creation of a consciousness that encourages people towards environmental sustainability. In addition, projects that bring together the artistic, ecological, and social benefits of artificial reefs will inspire the establishment of stronger ties between environmental protection and cultural production in the future.

GİRİŞ

Günümüzde küresel ısınma, nüfus artışı, çevresel faktörler ve av baskısı su habitatındaki doğal yaşamı olumsuz yönde etkilemektedir. Su canlılarının ekosistemlerindeki varlıklarını muhafaza edebilmek ve türlerin devamlılığını sağlayabilmek için 21. yüzyılda insanoğlunun geliştirdiği en önemli buluş olarak yapay resifler karşımıza çıkmaktadır. Yapay resifler, deniz ekosistemlerini restore etmek, biyoçeşitliliği artırmak ve sürdürülebilir bir çevre oluşturmak için geliştirilen yenilikçi projelerdir. Ayrıca yapay resiflerin su ortamında yaşayan türlerin devamlılığı, sürdürülebilir balıkçılık faaliyetleri ve çevresel etkilerinin yanı sıra açıkça gözlemlenebilen sosyo-ekonomik faydaları vardır. Balık stoklarının yasa dışı balıkçılık faaliyetlerinden korunmasına, eğitim ve eğlence fırsatlarının yanı sıra ticari amaçlı çeşitli kabuklu deniz ürünleri türlerinin yetiştirilmesinde ek alt tabaka sağlarlar. Yapay resiflerin balık türlerinin üretkenliğini gerçekten arttırıp arttırmadığı konusunda ihtilaflar olmasının yanı sıra Kuzey-Doğu Atlantik Deniz Çevresinin Korunması Sözleşmesi (OSPAR) komisyonuna göre

yapay resifler; sadece balıkların belirli bölgelerde yoğun habitat oluşturmasını sağlamakta ve hatta yakalanmalarını kolaylaştırmaktadır. Benzer bir yaklaşımla su ortamında ova halinde olan kumlu alana resif yerleştirmenin biyolojik çeşitliliği arttırdığı iddiası da konunun bazı uzmanları tarafından desteklenmemektedir. Kumlu bir alt katman ile ilişkili biyolojik çeşitliliğin kayalık bir resifle değiştirilmesi ve kumlu dip türleri için önemli olan bu alanın aslında olumsuz etkisi olabileceği ihtimali her zaman mevcuttur. Bunun en bariz örneklerini kum şırlanı (*Donax trunculus*) ve akivades (*Ruditapes decussatus*) gibi kabuklu türlerinin yanı sıra kalkan (*Scophthalmus maximus*), dil (*Solea solea*) ve pisi (*Platichthys flesus*) gibi yassı balıkların yaşam alanlarının ortadan kaldırılması olarak değerlendirilebilir. Ayrıca resiflerin kurulumu aşamasında yapılan hatalarında doğrudan olumsuz etkileri olabilmektedir. Resiflerin yeterince sağlam olmadığı durumlarda parçalanabilir olmalarının yaşam ortamı yaratmak yerine denizde çöp olarak kirlilik sorununu artırma riski mevcuttur. Yapay resiflerin olası olumsuz etkileri planlama ve uygulama aşamasında yapılacak doğru işlemlerle asgari düzeye indirilebilir (OSPAR, 1999). Öncelikli

olarak habitatı yeniden canlandırmayı ve/veya korumayı amaçlayan yapay resifler, daha önce bozulmuş veya kaybolan habitatlarla ilişkilendirilen işlevlerin yerine geçmek üzere kurulmalıdır. Restorasyon amacı güden yapay resif uygulamalarında en uygun seçim doğal resiflerin taklit edilmesi olacaktır. Habitat desteklemesi ve genişletmesi çalışmaları genellikle sağlıklı ve doğal habitatlara sahip alanlarda yapılır. Yapay resifin amacı; işlevleri ne olursa olsun habitatları desteklemek ve en fazla balığa ev sahipliği yapan habitatlar oluşturmaksa, popülasyon kompozisyonundan bağımsız olarak en yüksek popülasyon yoğunluğuna ve biyokütleyle sahip yapılar uygun seçim olacaktır. Bununla birlikte habitat desteklemesi ve genişletmesinin amacı, mevcut ortamın işlevini taklit eden habitatlar kurarak mevcut ortamları desteklemek için restorasyonda kullanılanlara benzer diğer yapılar da dikkate alınmalıdır (Lemoine vd., 2019). Bu süreçte sanat, çevresel koruma ve toplumsal farkındalık yaratma için güçlü bir mekanizma olarak karşımıza çıkmaktadır. Başta heykel sanatçıları olmak üzere konuya duyarlı sanatçılar; bilim insanları, mühendisler ve çevre uzmanlarıyla iş birliği yaparak, yapay resiflerin estetik ve ekolojik işlevlerini optimize eden yaratıcı çözümler sunabilirler. Disiplinler arası iş birliğiyle ortaya çıkacak bu projeler, yapay resiflerin tasarım, uygulama ve kullanım süreçlerini dönüştürüp, çevre bilincini ve yaygın etkisini artırabilirler. Su altı sanat müzeleri ve yapay resif projelerinde kullanılan estetik ve işlevsellik odaklı tasarımlar dalış turizmi için yeni bölgeler oluşturmaktadır. Bu müzeler mercan resifleri ve deniz ekosistemleri için hayati habitat alanlarını geliştirme amaçlı çalışmalar olarak önemlidir. Bu gerekçelerle, bu çalışmanın amacı; yapay resiflerin sanatsal yapılarla birleştirilerek yapılmış olanlar ile mukayeseli bir şekilde yapılacak olan resiflere farklı bir bakış açısı getirerek katkı sağlamaktır.

YAPAY RESİF AMAÇLI YAYGIN OLARAK KULLANILAN MATERYALLER

Yapay resifler, doğal resiflerin tahrip olduğu bölgelerde ekosistemleri desteklemek, biyoçeşitliliği artırmak, balıkçılığı geliştirmek ve dalış turizmini

teşvik etmek gibi çeşitli amaçlarla kullanılan insan yapımı yapılardır. Avrupa Yapay Resif Araştırma Ağı (EARRN) yapay resifleri “deniz tabanı üzerine kasıtlı olarak yerleştirilmiş doğal bir resifin bazı özelliklerini taklit eden batık bir yapıdır” şeklinde tanımlamaktadır (Baine, 2001). Kıyı bölgelerinde kullanımların yanı sıra, balıkçılık verimi, üretimi ve yönetimi, rekreasyonel dalış ve trol avcılığının önlenmesi gibi amaçları vardır. En çok tercih edilen yapay resif malzemelerinin başında; küpler, bloklar ve borular dahil olmak üzere beton muhteva eden materyaller gelmektedir. Beton aynı zamanda gemiler, taş ocağı kayası, lastikler ve plastik gibi diğer resif malzemeleriyle birlikte de kullanılmaktadır. Doğal taş ve kaya bir sonraki tercih edilen malzemedir (Baine, 2001). Birçok ülke, balıkçılık kaynaklarının korunması, deniz ekolojisinin iyileştirilmesi, biyoçeşitliliğin geliştirilmesi için yapılan resif inşasını kamu refahı açısından da ele almaktadır. Geçmişte, yapay resifler oluşturmak için menfez boruları, beton kazıklar, arabalar, batık gemileri ve lastikler dahil olmak üzere birçok farklı nesne kullanılmıştır. Yapay resifler, genellikle çevresel restorasyon, deniz canlılarına yaşam alanı sağlama ve deniz ekosistemlerinin korunması amacıyla inşa edilmesine rağmen doğal malzemeler yerine yapay veya sentetik malzemeler kullanıldığında çeşitli olumsuzluklar ortaya çıkabilir. Bu sorunlar, malzemenin çevresel uyumluluğu, toksisite potansiyeli ve ekosistemle etkileşimi gibi faktörlere bağlıdır. Deniz ekosistemine uygun olmayan malzemelerle yapılan resiflerin potansiyel olumsuzlukları hem ekosistem hem de toplum için önemli riskler taşımaktadır. Bu tür malzemeler, çevresel sürdürülebilirliği sağlama amacını zayıflatabilir ve deniz ekosistemlerine zarar verebilir. Yapay malzemelerin seçimi yapılırken çevresel etkiler ve ekosistemle uyum dikkate alınmalı ve çevre dostu alternatifler tercih edilmelidir. Dalış turizmini desteklemek amacıyla, özellikle mercanların bulunmadığı veya yeterli olmadığı, deniz suyunun temiz ve berrak olmadığı alanlarda yapay resifler oluşturulmaktadır. Ancak bu girişimlerin bazıları olumsuz sonuçlara yol açabilmektedir. Örneğin, plastik gibi geri dönüştürülmesi zor atıkların denize rastgele bırakılması, çevresel zararların en sık karşılaşılan örneklerindendir. 1970’lerde Amerika

Florida’ da sonucu bir felaket olacak binlerce otomobil lastiklerinin okyanusa atılması gibi çok kötü örneklerde yaşanmıştır (Şekil 1).



Figure 1. Car tires were dumped on the ocean floor in Florida to create an artificial reef in 1972 (Anonim, 2024a)

Şekil 1. 1972’de Florida’da yapay resif oluşturma amaçlı okyanus tabanına otomobil lastiklerinin atılması (Anonim, 2024a)

Dalış turizmi ve cazip su altı noktaları oluşturmak amacıyla eski gemi ve benzeri taşıtların batırılması da yaygın bir uygulamadır. Her ne kadar bu tür yapay resifler bazen çevresel sorunlara neden olsa da olumlu sonuçların elde edildiği örnekler de bulunmaktadır. Zamanla mercan türlerinin geliştiği ve doğal bir resif görünümüne kavuşan bu yapılar, çevresel restorasyon ve biyolojik çeşitliliğin artışı açısından başarılı bir model haline gelebilmektedir. Bu durum, yapay resiflerin tasarım ve uygulama süreçlerinde dikkatli planlama ve çevreye duyarlı malzemelerin kullanımının önemini vurgulamaktadır (Becer & Toslak, 2018). Son yıllarda, Güney Kore, Japonya ve Amerika Birleşik Devletleri gibi kıyı ülkeleri, kıyı şeridi koruması, liman istikrarı, yenilenebilir enerji kullanımı ve rekreasyon için yapay resifleri açık deniz yapılarıyla birleştirmeye başlamıştır. Bu yapıların gelecekte daha verimli kullanılması için ve birden fazla işleve sahip resiflerin geliştirilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Deniz tabanına oturtulan yapay resifleri kıyı ülkeleri deniz çiftliği projelerini geliştirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Pan vd., 2022). Güney Kaliforniya kıyılarındaki yapay resif oluşturmada prefabrik beton barınaklar, araba gövdeleri ve tramvaylar kullanılmıştır. Kaliforniya Balık ve Av Hayvanları Departmanı aktif olarak 1958’den bu yana kayadan resifler inşa etmektedir.

Kayadan inşa edilen resifler beton barınaklar ile karşılaştırıldığında ikinci sırada olmasına rağmen doğal olması nedeni ile tercih edilen önemli resif malzemesidir. Kayanın daha iyi bir malzeme olarak görülmesinin nedenleri maliyet, kullanım kolaylığı ve özellikle balıklar için cezbedici olmasıdır. Mevcut uygulamalar karşılaştırmalı olarak değerlendirildiğinde diğer resif malzemelerine nazaran kayalardan oluşturulan resifler çevresinde daha az aşınma ve çökme oluşumundan dolayı avantajlıdır. Kaliforniya’da taş ocağı kayalarından inşa edilen yapay kaya resifleri ile doğal kaya resifleri ve yosun ormanları arasındaki balık yoğunluklarının karşılaştırıldığı çalışmada, balık popülasyonlarının yoğunluğunun yapay kaya resiflerinde önemli ölçüde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle Güney Florida’daki yapılan uygulamalarda yapay resif gelişimi için taş ocağından çıkarılan kireçtaşı kullanılmaya başlanmıştır (Bell vd., 1997). Güney Florida’ya yakın bir bölge olan Grenada adası için yapay resif fidanlığı geliştirmeye yönelik ilk girişimlerde kullanılan çimento blok yapılı piramit yapay resif tasarımı, dış ve iç yüzey alanı arasında denge kurarken, mercan algleri ve mercan larvaları için ideal bir tutunma yüzeyi sağlamıştır (Şekil 2). Yüksek iç-dış yüzey alanının dengeli bir organizma alımı sağladığını ve istiflenmiş kayalarla değişen yüksekliğin balık popülasyonunu artırdığı görülmüştür. Kullanılan çimento blokları gibi iç yapının karmaşıklığı ve boyutundaki çeşitlilik, balıklarda ontogenik habitat değişimlerine izin vermektedir. Karayipler’de yapılan yapay resif çalışmalarının birçoğunda ise moloz kaya, çimento topları veya batık gemiler kullanılmış, ancak hiçbirinde istiflenmiş ve teraslanmış bir çimento piramidi tasarımı kullanılmamıştır (LeFebvre vd., 2024). Yaptığımız değerlendirmelerde beton modüllerin habitat restorasyonu için daha uygun yapılar olduğu görülmüştür. Ayrıca belirli yapı türleri yerine farklı yapıların bir karışımının kullanılmasının, aynı anda habitat restorasyonu ve habitat geliştirilmesi hedeflerine ulaşmada faydalar sağlama da değerlendirilmesi gereken ihtimaller arasındadır. Şöyle ki Lemoine vd. (2019) yaptıkları çalışmada farklı yapı dizileri veya oluşumlarının özellikle balık popülasyonlarının ve tür çeşitliliğinin

değerlendirilmesinde belirli yerler için daha uygun olabileceğini bildirmişlerdir. Yapay resif çalışmalarının olumlu sonuçları farklı malzemelerden ve/veya türlerde resif inşa edilmesi yönündeki eğilimleri de hızla artmıştır. Bu esnada ise ilave faktörler olarak yapay resiflerin inşasında boyut, dayanım süresi ve yapısal özellikler önem kazanmıştır. Bunun yanında yapay resiflerin güvenlik, ekonomik, işlevsellik gibi özellikleri ile de uygun şekilde olmalıdır.

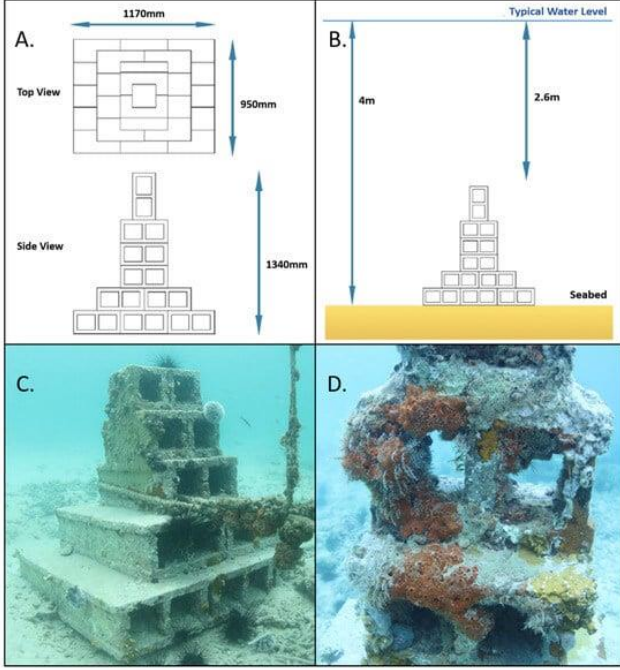


Figure 2. "Pyramid" artificial reef design. (A) Schematic of pyramid reefs (Cement block dimensions: 30.5 × 20.3 × 20.3 cm), (B) Depth location of pyramids. (C) Sample pyramid recently deployed (less than 6 months). (D) Pyramid with observed habitat formation (LeFebre et al., 2024)

Şekil 2. "Pirmit" yapay resif tasarımı. (A) Piramit resiflerinin şeması (Çimento blok boyutları: 30,5 × 20,3 × 20,3 cm), (B) Piramitlerin derinlik yerleşimi. (C) Yakın zamanda yerleştirilmiş (6 aydan az) örnek piramit. (D) Habitat oluşumu gözlenen piramit (LeFebre vd., 2024)

Japonya yapay resif üretiminde resif oluşturulacak malzemenin, dayanıklılığının uzun süreli olması, toksik maddeler bulundurmaması ve ekonomik olması gibi bir takım belli standartlar getirmiştir. "Resif bloğu" adı verilen resif birimlerinde daha çok çimento ve agrega karışımından donatı olarak çeliğin kullanıldığı çeşitli tipteki kalıplara dökülerek yapay resifler üretilmektedir (Düzbastılar & Lök, 2004).

Yapay resifler konusunda yapılan çalışmalar, yapay resiflerdeki organizma popülasyonlarının doğal resiflerdekilere benzer olup olmadığını değerlendirmiş olsa da çok azı, resiflerin hangi habitat özelliklerinin yapay ve doğal resiflerdeki deniz organizmalarının topluluklarında benzerliklere veya farklılıklara neden olduğunu nicel olarak araştırmıştır. Bu çalışmalarda balık popülasyonlarının yapay resiflerde doğal resiflere göre daha yoğun olma eğiliminde olduğu belirtilmektedir, ancak bunun neden meydana geldiği açık değildir, çünkü bu farklılığa neden olabilecek birlikte değişen birkaç faktör bulunmaktadır. Genel bir değerlendirme ile yapay ve doğal resifler arasındaki bu balık yoğunluğu farkını açıklayabilecek potansiyel olarak önemli habitat farklılıkları arasında, resifin inşasında kullanılan malzemeler kayalar, beton, batık tekneler, vb. alt tabaka karmaşıklığı, dikey rölyef, boyut ve mekânsal yapılandırma yer almaktadır. Örneğin beton bloklardan inşa edilen resiflerin, doğal resiflere veya beton borulardan ya da kullanılmış lastiklerden inşa edilen yapay resiflere kıyasla daha fazla tür çeşitliliğini ve balık popülasyonunu desteklediği görülmektedir. Yapay resiflerdeki daha yüksek balık yoğunlukları genellikle doğal habitatlara kıyasla daha fazla habitat karmaşıklığına atfedilmektedir ve habitat karmaşıklığının küçük yapay resiflerdeki balık popülasyonlarını etkilediği varsayımı için sağlam bir temel vardır. Ancak, yapay resifler doğal resiflerden ek şekillerde farklılık gösterir. Genellikle daha küçük oldukları için yapay resifler doğal resiflerle karşılaştırıldığında resif çevresinin resif yüzey alanına oranı daha yüksektir. Bu farkın yapay resiflerde bulunan balık yoğunluğunun daha yüksek olmasına da katkıda bulunduğu ileri sürülmüştür (Granneman vd., 2015).

SANATSAL RESİF PROJELERİ

Sanatsal resif projeleri, sanat, ekoloji ve toplumsal katılımın birleştiği yaratıcı girişimlerdir. Bu projeler, diğer tüm resifler gibi deniz ekosistemlerini koruma, restore etme amacı taşır ve ilave olarak sanatı çevresel farkındalık yaratmanın bir aracı olarak kullanır. İnsan faaliyetleri nedeniyle zarar gören deniz ekosistemlerinin rehabilitasyonu için yeni yaklaşımlar geliştirilirken, estetik ve deniz ekosisteminin kültürel

olarak ön plana çıkarılmasını da önemser. Sanatsal resifler, doğal resiflere benzer işlevler gören, ancak insan yapımı ve sanatsal dokunuşlarla zenginleştirilmiş yapılar olarak tanımlanır. Bu yapılar, genellikle deniz tabanına yerleştirilerek mercanlar, balıklar ve diğer deniz canlıları için yaşam alanı oluştururlar. Aynı zamanda toplumsal farkındalık yaratmayı ve çevre bilincini artırmayı hedeflerler. Sanatsal resif projelerinde kullanılan malzemeler genellikle çevre dostudur ve ekolojik uyumluluk gözetilir. Resifler, deniz ekosistemleri için kritik öneme sahiptir. Ancak, iklim değişikliği, kirlilik ve aşırı avlanma gibi tehditler, doğal resiflerin büyük ölçüde zarar görmesine neden olmaktadır. Sanatsal resifler, diğer resif türleri gibi bu zararların telafi edilmesine katkı sağlayarak ve ilave avantajlar sunarak deniz ekosistemlerinin yeniden canlandırılmasına yardımcı olabilirler. Sanat, sanatsal resif projelerinde bir ifade ve iletişim aracı olarak kullanılır. Sanatçılar, deniz ekosistemlerine özgü formları, renkleri, dokuları projelerine yansıtırlar estetik bir deneyim sunar ve toplumu çevresel sorunlar hakkında bilinçlendirmeyi amaçlarlar.

Yapay resifler doğal resifler için bir tampon sistem görevi görerek mercanların büyümesi için güvenli ortamlar sağlarlar ve yapay resifler, doğal resifler arasında bir bağlantı oluştururlar. Doğal resiflerin yapay resifler tarafından başarılı bir şekilde desteklenmesinin, omurgasız ve omurgalı su canlılarının popülasyonlarını olumlu etkilediği bilinmektedir. Gözlemlenen bu etkileşimin farklı yerlerde tamamen faydalı veya sabit olmaması muhtemeldir, bu nedenle yerel doğal resifler üzerinde fayda sağlayıp sağlamadığını ve zararlı etkileri olup olmadığını belirlemek için her bir yerde yapay resiflerin etkileri üzerine araştırma yapılması gerekmektedir. Gönüllü sivil gruplar dünya çapında pek çok yapay resif projesi başlatmakta, bu da bilimsel ve uluslararası topluluklarda etkili yapay resifler için standartların belirlenmesi konusunda endişelere yol açmaktadır. Bu nedenle bir bölgede yapay resif planlamadan önce yakınındaki resiflerle ilgili çalışma yapmak ve çalışma sonuçlarını değerlendirmek uygulanması planlanan bir yapay resif programının yararları veya zararları hakkında veriler elde etmemizi sağlayabilir (LeFebvre vd., 2024).



Figure 3. ReefLine Master Plan, Miami Beach (Gulliksen, 2024)

Şekil 3. ReefLine Projesi Ana Planı, Miami Beach (Gulliksen, 2024)

RefLine Projesi, Miami Beach şeridinde 11 kilometre uzunluğunda planlanan bir su altı heykel parkı, şnorkel yolu ve yapay resif projesidir (Şekil 3). Bu girişim iklim değişikliğinin etkilerine dikkat çekmeyi, deniz ekosistemlerini korumayı ve şehrin sanat ortamını zenginleştirmeyi amaçlamaktadır. Proje, kültürel mekân oluşturucu ve sanat küratörü Ximena Caminos'un liderliğinde kâr amacı gütmeyen BlueLab Preservation Society ve Miami merkezli sanat stüdyosu olan Coral Morphologic iş birliğiyle yürütülmektedir. ReefLine, nesli tükenme tehlikesi altındaki resif organizmaları için kritik yaşam alanları sağlayarak deniz biyoçeşitliliğini teşvik etmeyi hedeflemektedir. Proje kapsamında uluslararası tanınmış sanatçılar tarafından tasarlanan ve çevreye duyarlı malzemelerden üretilen heykeller deniz tabanına yerleştirilecektir. ReefLine, halkın su altı sanatını deneyimlemesini sağlayarak çevresel farkındalığı artırmayı ve toplumu deniz ekosistemlerinin korunmasına teşvik etmeyi amaçlamaktadır. ReefLine'ın master planı, mimar Shohei Shigematsu liderliğindeki OMA tarafından, deniz biyologları, araştırmacılar, mimarlar ve kıyı mühendislerinden oluşan bir ekiple iş birliği içinde hazırlanmıştır. Deniz tabanının topoğrafyasını takip eden geometrik, beton modüler birimlerden oluşan yapı, güney sahilinden kuzeye doğru konuşlandırılacaktır. Yapay resifler, balıklar, mercanlar ve diğer deniz organizmaları için yeni habitatlar oluşturarak ekosistemin iyileşmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir. ReefLine, halka açık bir su altı parkı olarak, ziyaretçilere deniz ekosistemleri hakkında bilgi edinme ve su altı sanatını

deneyimleme fırsatı sunacak ve eko turizmi teşvik ederek yerel ekonomiye de katkı sağlayacaktır (Walsh, 2022).

Sanatçı Carlos Betancourt ve mimar Alberto Latorre'nin RefLine Projesi için denizyıldızlarından ilham alarak bir resif modeli tasarlamışlardır (Şekil 4). Bu çevreci heykeller resif olarak özel tasarlanmış olmaları nedeni ile deniz yaşam alanlarında çığır açacak niteliktedirler.



Figure 4. Miami Reef Star by The ReefLine, artist Carlos Betancourt and architecture Alberto Latorre (Anonim, 2024b)

Şekil 4. Sanatçı Carlos Betancourt ve mimar Alberto Latorre'nin Miami Resif Yıldızları, ReefLine Projesi (Anonim, 2024b)



Figure 5. Heart of Okeanos, ReefLine Project, by Petroc Sesti (Anonim, 2024b)

Şekil 5. Okeanos'un Kalbi, ReefLine Projesi, Petroc Sesti (Anonim, 2024b)

Eserin tasarımında, dünyanın en büyük kalbine sahip mavi balinanın biyolojisinden ve çevresel sürdürülebilirlikten ilham alınmıştır. Sesti'nin "Okeanos'un Kalbi," Kanada'daki Royal Ontario Müzesi'nde bilim insanları tarafından incelenen, karaya oturmuş bir mavi balinanın gerçek kalbinden esinlenmiştir. Sanatçı, mavi balinanın devasa kalbini

hem estetik hem de ekolojik bir yaklaşımla yeniden yorumlamıştır. Heykel, sera gazlarını yakalayabilen deneysel bir malzeme olan CarbonXinc kullanılarak üretilmiştir. Bu malzeme, karbonu yakalayan mercan ve diğer deniz organizmalarının biyolojisinden esinlenerek geliştirilmiştir. Ayrıca eser, canlı mercanlarla tohumlanarak yapay bir resif haline dönüşme potansiyeline sahiptir. Meditasyon yapan bir deniz feneri formunda tasarlanan eser, estetik bir sembol olmanın yanında, mercan resifi gibi işlev görerek deniz yaşamını desteklemeyi amaçlamıştır. Okeanos'un Kalbi'ni ekolojik fayda açısından değerlendirdiğimizde, heykel, önemli miktarda sera gazını tutma kapasitesine sahip karbon yakalayıcı malzemesiyle iklim değişikliğiyle mücadelede yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır. Canlı mercanlarla desteklenen yapısı, deniz organizmaları için bir yaşam alanı oluşturmayı hedeflemiştir. Kültürel ve mitolojik bağlantıları ile Yunan mitolojisindeki Okeanos figürü üzerinden, okyanusların yaşam döngüsündeki önemini vurgulamaktadır. Sesti, Okeanos'un kalbini okyanusa geri döndürerek hem mitolojik bir sembolü hem de çevresel bir mesajı somutlaştırmıştır (Walsh, 2022).



Figure 6. Coral Dreams, Miami Art Week, by Refik Anadol (Anonim, 2024c)

Şekil 6. Mercan Düşleri, Miami Sanat Haftası, Refik Anadol (Anonim, 2024c)

Sosyal medya platformlarından alınan 35 milyon mercan görüntüsünü bilgisayarda bir araya getirerek

işleyen Türk sanatçı Refik Anadol bu enstalasyonu 2021 yılında Art Week Miami Beach'te sergilemiştir (Şekil 6). "Mercan Düşleri" isimli bu enstalasyon çalışması New York Modern Sanat Müzesi tarafından satın alınmış, geliri resifleri koruma ve sürdürülebilirliğe odaklanan ReefLine projesine bağışlanmıştır.

Denizlerin derinliklerinde tahmini 3.000.000 civarında gemi enkazı olduğu düşünülmektedir ve bu nedenle denizler dünyanın en büyük müzesi olarak tanımlanır. Aslında suların derinliklerinde yatan bu gemiler bir bakıma zaman kapsülü olup binlerce yıldır gemiler tarafından taşınan malları, insanları ve fikirleri yansıtan toplumun bir mikrokozmozudur. Bu geniş arkeolojik repertuarın yalnızca bir kısmı keşfedilmiş ve belgelenmiştir. Keşfedilen yerler, insanlık hikayesi hakkında paha biçilmez bilgiler sağlamaktadır (Gambin vd., 2021). Zaman içinde oluşan bu türden kalıntılar dışında dünyanın birçok yerinde deniz içinde oluşturulan su altı müzeleri vardır. Bu müzeler genellikle dalış yapanlar için ilgi çekici heykellerden oluşturulmuştur. Su altı müzeleri, sürdürülebilir turizm anlayışını destekleyen yenilikçi bir modeldir. Bu yaklaşım, insan faaliyetlerinin deniz ekosistemleri üzerindeki etkilerini azaltmayı ve deniz yaşamını destekleyen koruma alanları yaratmayı hedeflemektedir. Örneğin, sanatçı Jason deCaires Taylor'ın dünyanın birçok farklı bölgesinde deniz tabanına yerleştirdiği heykelleri mercan ve deniz yaşamına habitat oluştururken sanatseverler için de ilham verici bir deneyim sunmaktadır (Şekil 7).



Figure 7. Cannes Underwater Eco-Museum by Jason deCaires Taylor, France (Anonim, 2024d)

Şekil 7. Cannes Sualtı Müzesi, Jason deCaires Taylor, Fransa (Anonim, 2024d)



Figure 8. The Silent Evolution, Museo Subacuático de Arte (MUSA), Cancun, Mexico by Jason deCaires Taylor (Anonim, 2024e)

Şekil 8. Sessiz Evrim, Museo Subacuático de Arte (MUSA), Cancun, Meksika, Jason deCaires Taylor (Anonim, 2024e)

Kıyı ekosistemleri kirlilik, kıyı geliştirme ve aşırı avlanma gibi yerel baskılara maruz kalmaktadır. Büyük ölçekte acil iklim değişikliği eylemi hayati önem taşısa da yapay resifler, artan av baskısına karşı ortak biyolojik yönetim hedefleri olmasıyla, bozulan doğal resif ekosistemlerini telafi etmek için kullanılan bir koruma aracı olarak popülerlik kazanmaktadır. Yapay resifler ayrıca habitat hasarını veya kaybını azaltmak için de uygulanır ve mercanların yeniden kolonileşmesine yardımcı olmaktadır. Sualtı heykellerine mercan dikmek, sanat, bilim, turizm ve korumayı birbirine bağlamanın yenilikçi bir yöntemidir. Sualtı sanatı, ilham vermek, çevresel sorunları vurgulamak ve koruma çabalarını yönlendirmek için bir araç olarak kullanılmıştır (Smith vd., 2022). Meksika'nın Cancun kıyılarında Jason deCaires Taylor tarafından yapılmış MUSA sualtı sanat müzesi 500'den fazla heykel içeren ve dünyanın en büyük su altı müzesi olan eşsiz bir sanat ve ekoloji projesidir. İngiliz heykeltıraş ve deneyimli dalgıç olan Taylor eserlerinde estetik ve çevresel faydayı bir araya getirmiştir. Heykeller, nötr pH üreten özel bir çimento karışımıyla yapılmıştır ve mikroorganizmaların kolonize olmasını kolaylaştırarak mercan resiflerinin oluşumuna katkı sağlamaktadır (Şekil 8). Bu süreç, su canlılarının popülasyonunu artırmakta ve türlerin üremesini desteklemektedir. Bu şekilde oluşturulmuş müzeler insanlar için estetik bir deneyim sunarken deniz ekosistemlerini restore eden, çevre korumayı

birleştiren yüce bir kompozisyon olarak öne çıkmaktadır. Burada, estetik ve fayda bu yüce kompozisyonla bir araya gelir, çünkü heykeller mercanın büyümesi için ideal bir alt tabakadır ve sonunda daha zengin bir deniz biyokütlesini sürdüren ve türlerin üremesini destekleyen bir resif oluşturmaktadır (Cué, 2015).

Sanat ve ekoloji arasında bağlantı kuran Taylor'ın projeleri, sanatı bilimsel ve ekolojik bir çözüm mekanizması olarak kullanmaktadır. Su altı heykellerinin tasarımında kullanılan malzemeler ve yerleştirildikleri alanlar, deniz yaşamını desteklemek ve mercan resiflerinin restorasyonuna katkıda bulunmak için özenle seçilmiştir. Taylor'ın heykelleri, deniz yaşamı için yapay habitatlar oluştururken, insanların daha kırılgan ve tehlike altındaki resif alanlarından uzaklaştırılmasını amaçlamaktadır. Taylor'un bu projeleri, şehir planlaması ve çevre mühendisliği yaklaşımlarını sanatla birleştiren yenilikçi yöntemdir (Kuta, 2023). Jason deCaires Taylor, su altı dünyasının dilini ve heykel formunu derinlemesine anlayarak, bu iki güçlü ifade aracını eşsiz bir simya ile birleştirmeyi başarmıştır. Yapmış olduğu su altı müzesi projeleri yalnızca hayranlık uyandıran estetik yapılar olarak değil aynı zamanda derin kavramsal amaçlarla donatılmış sanatsal enstalasyonlardır. Taylor'ın heykelleri, su altı ortamının eşsiz şiirselliği ile bütünleşerek, izleyicide büyüleyici bir hayranlık ve merak uyandırmaktadır. Taylor'ın projeleri, insan yapımı heykel ile deniz ekosisteminin organik birleşimini temsil ederken, doğa ve sanat arasındaki sınırları bulanıklaştırmıştır. Taylor'ın su altı projeleri, Robert Smithson, Michael Heizer ve Walter De Maria gibi Earthworks sanatçılarının kavramsal mirasıyla güçlü bir bağ kurmaktadır. Bu sanatçılar gibi Taylor da insanın çevresiyle olan ilişkisini sorgulayan mekân temelli eserler yaratmıştır. Taylor'ın eserleri, estetik hayranlık uyandırmanın ötesinde, izleyicide doğaya dair daha derin bir farkındalık yaratmayı hedeflemektedir. Taylor, su altı dünyasına olan saygısını bu dünyanın potansiyelini sanatsal bir ifade alanı olarak ortaya koymaktadır (Taylor vd., 2014). Heykellerinin temel amacı, çevresel farkındalık yaratmaktır. İnsan trafiğini yönlendirmek ve ekosistemleri korumak için yeni turistik modeller geliştiren Taylor, çevresel bilime

dayalı bir çözüm önerisi sunmaktadır. Taylor'ın eserleri, mistik bir deneyimden ziyade, insanların doğayla ilişkisini yeniden düşünmeye teşvik eden bir davranışsal müdahale olarak değerlendirilmelidir. Bu heykellerin varlığı, sanatseverler ile birlikte dalış yapan turistleri ve yerel toplulukları da deniz ekosistemlerinin korunması gerektiği konusunda bilinçlendirmeyi amaçlamaktadır. Taylor'un kullandığı model ve heykellerinin sualtında zaman içerisindeki değişimi Şekil 9'da verilmiştir.



Figure 9. Models and sculptures by Jason deCaires Taylor (Anonim, 2024e)

Şekil 9. Jason deCaires Taylor tarafından kullanılan model ve heykeller (Anonim, 2024e)

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmalar incelendiğinde sanatsal amaçlı çalışmalarda ve yapay resif sistemlerinde öncelikle pH değerleri deniz habitatına uygun olan beton malzemenin yaygın olarak kullanıldığı görülmüştür. Bu özel betondan üretilen resif bloklara ve su altı müzeleri genelinde üretilen sanatsal yapılara yüzeylerinin temiz ve yosunsuz olmalarından dolayı mercanların tutunduğu izlenmiş ayrıca balıklar için olumlu habitat alanları oluşturulmasında beklenen sonuçlar elde edilmiştir. Beton malzemenin ekonomik ve kolay şekillendirilebilir olması da bir diğer tercih nedenidir. Yine bu çalışmalar incelendiğinde doğal kayalardan oluşturulmuş resiflerin tercih edilen ikinci resif türü olduğu belirtilmiştir. Yapay resiflerin oluşturulmasında sanat çevresel sürdürülebilirlik ve toplumsal bilinçlendirme için güçlü bir katalizör olarak ortaya çıkmaktadır. Sanatçıların çevre dostu ve ekolojik olarak uyumlu malzemelerle tasarladıkları eserleri, deniz yaşamı için habitatlar yaratırken, insanları çevreye duyarlı olmaya teşvik etmişlerdir. Su altı müzeleri ve yapay resif projeleri sanatın bilim,

mühendislik ve çevre koruma disiplinleriyle başarılı bir şekilde nasıl entegre olabileceğini göstermektedir. Jason deCaires Taylor gibi sanatçılar, su altı heykelleriyle mercan resiflerinin oluşumunu desteklerken, estetik açıdan etkileyici yapılarla turizmi teşvik ederek doğal resiflerin korunmasına katkıda bulunmuşlardır. Musa, ReefLine ve benzeri projeler, sanat ve bilimin birleşerek çevresel sorunlara yenilikçi çözümler sunduğu örneklerdir. Yapay resif projelerinde sanat, estetik ve çevresel işlevselliği bir araya getirerek disiplinler arası iş birliğine örnek teşkil etmektedir. Bu süreçte karşılaşılan zorluklar ve eleştiriler yapay resiflerin etkinliğini artırmak için dikkat edilmesi gereken önemli noktaları ortaya koymaktadır. Çevresel etkilerin dengelenmesi açısından yapay resiflerin tasarımında kullanılan malzemelerin deniz ekosistemleri ile uyumlu olması büyük önem taşımaktadır. Çevreye zararlı veya toksik malzemelerin kullanımı projelerin amacına zarar verebilir. Bu nedenle, sanatsal düşünceleri desteklerken çevresel uyumluluğun sağlanması projelerin başarısı için kritik bir gerekliliktir. Sanatın yaratıcı özgürlüğü ile bilimin teknik gereklilikleri arasındaki denge disiplinler arası iş birliğinde dikkatle ele alınmalıdır. Estetik kaygılar, projelerin ekolojik hedeflerinden ödün vermemelidir. Örneğin, heykellerin tasarımında hem mercanların tutunabileceği yüzeylerin sağlanması hem de görsel çekiciliğin korunması önemlidir. Yapay resifler, dalış turizmini teşvik ederek ekonomik fayda sağlarken aşırı turizm baskısı yaratma riski de taşımaktadır. Bu durum, resiflerin doğal ekosistemler üzerindeki koruyucu etkisini zayıflatabilir. Turizm faaliyetleri planlanırken, resiflerin sürdürülebilirliğini ve çevresel dengeyi gözetmek önemlidir. Yapay resiflerin zamanla doğal resiflere dönüşmesi hedefi doğrultusunda bu süreçlerin sürekli izlenmesi ve gerektiğinde müdahale edilmesi gerekmektedir. Sanat eserlerinin dayanıklılığı ve ekolojik faydalarının sürdürülebilirliği projenin başarısını belirleyen önemli faktörlerdir. Çevresel olarak sürdürülebilir, biyolojik olarak uyumlu ve dayanıklı malzemelerin geliştirilmesi teşvik edilmelidir. Nötr pH sağlayan beton türleri ve geri dönüştürülebilir malzemelerin kullanımı, projelerin çevresel etkisini azaltabilir. Sanatçılar, bilim insanları, mühendisler ve çevre

koruma uzmanları arasında iş birliğini artırmak için ortak eğitim programları ve atölyeler düzenlenebilir. Bu tür etkinlikler, farklı disiplinlerin bilgi ve deneyimlerini birleştirerek daha yenilikçi projelerin ortaya çıkmasını sağlayabilir. Yapay resiflerin turistik cazibesi, çevresel sürdürülebilirlik ilkesine uygun bir şekilde yönetilmelidir. Kontrollü ziyaret programları, belirli bölgelerde dalış sınırlamaları ve çevre dostu turizm uygulamaları hayata geçirilebilir. Yerel toplulukların projelere katılımı teşvik edilmeli ve çevresel bilinçlendirme kampanyaları düzenlenmelidir. Yapay resiflerin ekosisteme katkısı, biyolojik çeşitlilik ve resif gelişimi açısından düzenli olarak izlenmelidir. Bu veriler, gelecekteki projelerin planlanmasında kullanılabilir ve yapay resiflerin uzun vadeli etkileri hakkında bilimsel bilgi birikimi sağlayacak şekilde olmalıdır. Bu projelerin başarılı ve sürdürülebilir olması için planlama, uygulama ve izleme süreçlerinde dikkatli bir yaklaşım benimsenmelidir. Bilim, sanat ve çevre mühendisliği arasındaki iş birliğinin güçlendirilmesi, yapay resiflerin deniz ekosistemlerine olan katkısını artıracak ve gelecekte daha etkili projelerin hayata geçirilmesini sağlayacaktır.

Sonuç olarak, disiplinler arası iş birliğine dayalı yapay resif projeleri, sanatın insan ve doğa arasındaki ilişkiyi güçlendirme potansiyelini ortaya koymaktadır. Bu tür projeler hem ekosistemlerin korunmasına hem de insanları çevresel sürdürülebilirliğe teşvik eden bir bilinç yaratmaya hizmet etmektedir. Yapay resiflerin sanatsal, ekolojik ve toplumsal faydalarının bir araya geldiği bu girişimler, gelecekte çevresel koruma ve kültürel üretim arasında daha güçlü bağlar kurulması için ilham kaynağı olacaktır.

Etik Standartlara Uygunluk

Yazarların Katkısı

İK: Kavramsallaştırma, Araştırma, Yazma – orijinal taslak hazırlama, Yazma – gözden geçirme ve düzenleme

MHZ: Kavramsallaştırma, Araştırma, Yazma – orijinal taslak hazırlama, Yazma – gözden geçirme ve düzenleme

Tüm yazarlar makalenin son halini okumuş ve onaylamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını deklare etmektedir.

Etik Onay

Yazarlar bu çalışma için resmi etik kurul onayının gerekli olmadığını bildirmektedir.

Finansal Destek

Yazarlar bu çalışma için herhangi bir finansal destek almadıklarını bildirmektedir.

Veri Kullanılabilirliği

Bu çalışmada yeni veri oluşturulmadığı için veri kullanılabilirliği geçerli değildir.

Yapay Zeka Kullanımı Açıklaması

Yazarlar, bu makalenin yazılmasında veya görsellerin, tabloların veya grafiklerin oluşturulmasında hiçbir üretken yapay zekanın kullanılmadığını teyit etmektedir.

KAYNAKLAR

Anonim (2024a). *The time Florida dumped 2 million tires in the ocean to help fish*. <https://assignmentpoint.com/the-time-florida-dumped-2-million-tires-in-the-ocean-to-help-fish> (Erişim Tarihi: 18.08.2024)

Anonim (2024b). *ReefLine*. <https://www.thereefline.org> (Erişim Tarihi: 12.09.2024)

Anonim (2024c). *Machine hallucinations – Coral dreams*. <https://refikanadol.com/works/coraldreams/> (Erişim Tarihi: 22.10.2024)

Anonim (2024d). *Cannes Underwater Museum, the First Underwater Art Gallery in Europe*. <https://mybestplace.com/en/article/cannes-underwater-museum-the-first-underwater-art-gallery-in-europe> (Erişim Tarihi: 7.08.2024)

Anonim (2024e). <https://www.alejandrargos.com/index.php/en/all-articles/23-travel/380-underwaters-sculpturs-jason-decareis-taylor-y-lo-sublime> (Erişim Tarihi: 17.11.2024)

Baine, M. (2001). Artificial reefs: A review of their design, application, management and performance. *Ocean & Coastal Management*, 44(3-4), 241-259. [https://doi.org/10.1016/S0964-5691\(01\)00048-5](https://doi.org/10.1016/S0964-5691(01)00048-5)

Becer, Z. A., & Toslak, C. (2018). Türkiye’de yapay resif uygulamalarına ilişkin bir değerlendirme. 6. *ASM Uluslararası Tarım ve Çevre Kongresi, Tam Metin Kitabı*. ss. 60-67.

Bell, M., Buchanan, M., Culbertson, J., Dodrill, J., Kasprzak, R., Lukens, R., & Tatum, W. (1997). *Guidelines for marine artificial reef materials*. Compiled by the Artificial Reef Subcommittee of the Technical Coordinating Committee. Gulf States Marine Fisheries Commission TCC Artificial Reef Subcommittee. U.S. Fish and Wildlife Service Project Report.

Cué, E. (2015, January). Jason deCaires Taylor and the sublime. Cancun. <https://www.alejandrargos.com/index.php/en/all-articles/23-travel/380-underwaters-sculpturs-jason-decareis-taylor-y-lo-sublime>

Düzbastılar, F. O., & Lök, A. (2004). *Yapay resif inşasında kullanılan birincil malzemeler* [Primary materials in construction of artificial reefs]. *Su Ürünleri Dergisi*, 21(1), 181-185.

Gambin, T., Hyttinen, K., Sausmekat, M., & Wood, J. (2021). Making the invisible visible: Underwater Malta—A virtual museum for submerged cultural heritage. *Remote Sensing*, 13(8), 1558. <https://doi.org/10.3390/rs13081558>

Granneman, J. E., & Steele, M. A. (2015). Effects of reef attributes on fish assemblage similarity between artificial and natural reefs. *ICES Journal of Marine Science*, 72(8), 2385-2397. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsv094>

Gulliksen, J. (2024, February 1). *The ReefLine: Art and sustainability go underwater in Miami Beach*. <https://www.artburstmiami.com/blog/the-reefline-art-and-sustainability-go-underwater-in-miami-beach> (Erişim Tarihi: 11.09.2024)

Kuta, S. (2023, December 4). *See the Newest Underwater Sculptures Residing on the Floor of the Caribbean*. <https://www.smithsonianmag.com/smart-news/see-the-new-underwater-sculptures-on-caribbean-seafloor-180983359>

- LeFebvre, B., Saye, P., & Henkel, J. S. (2024). A report on the artificial reef use in Grenada, west indies. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(2), 253. <https://doi.org/10.3390/jmse12020253>
- Lemoine, H. R., Paxton, A. B., Anisfeld, S. C., Rosemond, R. C., & Peterson, C. H. (2019). Selecting the optimal artificial reefs to achieve fish habitat enhancement goals. *Biological Conservation*, 238, 108200. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108200>
- OSPAR. (1999). OSPAR guidelines on artificial reefs in relation to living marine resources. OSPAR 99/15/1-E Annex 6. Published by OSPAR Secretariat, London, UK.
- Pan, Y., Tong, H., Wei, D., Xiao, W., & Xue, D. (2022). Review of structure types and new development prospects of artificial reefs in China. *Frontiers in Marine Science*, 9, 853452. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.853452>
- Smith, A., Songcuan, A. J., Cook, N., Brown, R., Cook, K., & Richardson, R. (2022). Engineering, Ecological and social monitoring of the largest underwater sculpture in the World at John Brewer Reef, Australia. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(11), 1617. <https://doi.org/10.3390/jmse10111617>
- Taylor, J. D., McCormick, C., & Scales, H. (2014). *The underwater museum: The submerged sculptures of Jason deCaires Taylor*. Chronicle Books.
- Walsh, N. (2022, November 4). Meet the woman planning an underwater highline. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2022/11/04/travel/reef-line-miami-beach.html>



Eel-tailed Catfish Pituitary Gland: A Sustainable Alternative for Induced Spawning in African Catfish

Roy C. Villanueva¹ 

¹ Iloilo State University of Fisheries Science and Technology, College of Fisheries and Aquatic Sciences, Tiwi, Barotac Nuevo, Iloilo 5007, Philippines; roycvillanueva1978@isufst.edu.ph

✉ Corresponding Author: roycvillanueva1978@isufst.edu.ph

Please cite this paper as follows:

Villanueva, R. C. (2025). Eel-tailed Catfish Pituitary Gland: A Sustainable Alternative for Induced Spawning in African Catfish. *Acta Natura et Scientia*, 6(1), 32-36. <https://doi.org/10.61326/actanatsci.v6i1.347>

ARTICLE INFO

Article History

Received: 10.03.2025

Revised: 03.05.2025

Accepted: 06.05.2025

Available online: 21.05.2025

Keywords:

African catfish

Eel-tailed catfish

Nile tilapia

Induced spawning

Alternative pituitary gland

A B S T R A C T

The reliance on expensive synthetic hormones and the ethical concerns of sacrificing potential breeders for pituitary gland (PG) extraction in African catfish (*Clarias gariepinus*) induced spawning necessitate exploring cost-effective and ethical alternatives. This study evaluated the efficacy of PG extracts from eel-tailed catfish (*Tandanus tandanus*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) compared to African catfish PG. Twelve mature African catfish (approximately 500 g each) were divided into three treatment groups (n=4 per group), each receiving PG extracts standardized by donor fish weight. Spawning latency was recorded and analyzed using ANOVA and post-hoc tests. Results demonstrated that eel-tailed catfish PG (13.54 h) exhibited comparable spawning latency to African catfish PG (11.88 h), while Nile tilapia PG resulted in significantly longer latency (17.59 h). This suggests that eel-tailed catfish PG is a viable and cost-effective alternative to synthetic hormones and traditional PG extraction, offering a sustainable solution for African catfish hatcheries.

INTRODUCTION

Aquaculture's sustained growth heavily relies on the controlled reproduction of commercially valuable fish species. Fish maturation and spawning are complex physiological processes meticulously orchestrated by a cascade of hormones, with the hypothalamus playing a pivotal role in initiating this hormonal cascade (Zohar & Mylonas, 2001). To overcome the challenges posed by species that do not readily spawn in captive environments, such as the

African catfish (*Clarias gariepinus*) and various carp species, induced spawning techniques have become indispensable (De Graaf & Janssen, 1996).

Synthetic hormones, including luteinizing hormone-releasing hormone (LHRH) analogues, have been widely employed to stimulate maturation, spawning, and ovulation by mimicking the natural hormonal signals (Peter & Yu, 1997). LHRH successfully initiates the hormonal chain reaction leading to ovulation, offering a reliable method for inducing reproduction (Mylonas & Zohar, 2000).

Hypophysation, the injection of pituitary gland (PG) extracts, remains a widely practiced and effective method for inducing spawning, especially in species like carp and African catfish (Crim et al., 1976; Gadissa & Devi, 2013). This technique, pioneered by Houssay, demonstrated the efficacy of crude pituitary extracts in stimulating breeding (Houssay, 1931). Induced breeding techniques, when combined with appropriate environmental cues and the assessment of fish physiological conditions, ensure the production of healthy and uniform-sized fish seed for stocking (Bromage & Roberts, 1995). Hypophysation, a technique refined over decades, remains a practical method for inducing spawning (De Graaf & Janssen, 1996). The phylogenetic distance between the PG donor and recipient is a crucial factor influencing the efficacy of hypophysation. Dosage determination often relies on empirical data due to these variations (Donaldson, 1996). For instance, pituitaries from immature marine catfish have been used at five times the homoplastic dosage to induce ovulation in Indian carp, highlighting the need for dosage adjustments based on phylogenetic relationships (Marte, 1989).

However, the traditional practice of PG extraction from African catfish involves sacrificing potential breeders, which not only depletes valuable broodstock but also devalues market-ready fish (De Graaf & Janssen, 1996). Therefore, the search for alternatives to traditional PG extraction methods is imperative. The current study focuses on addressing these challenges by evaluating the efficacy of alternative PG sources, specifically from eel-tailed catfish (*Tandanus tandanus*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), as replacements for African catfish PG. These species are readily available, potentially offering a sustainable solution for African catfish hatcheries. By exploring the potential of alternative PG sources, this research aims to mitigate the concerns surrounding the sacrifice of potential breeders, thereby contributing to the development of sustainable aquaculture practices.

MATERIAL AND METHODS

Experimental Design

This study employed a completely blocked design (CBD) to evaluate the efficacy of PG extracts from

three donor fish species: African catfish (*C. gariepinus*), eel-tailed catfish (*T. tandanus*), and Nile tilapia (*O. niloticus*), for inducing spawning in female African catfish (*C. gariepinus*) breeders. Twelve mature female African catfish breeders (approximately 500 g each) were randomly assigned to three treatment groups (n=4 per group). Each group received a PG extract from one of the donor species: Group 1 (African catfish PG - Control), Group 2 (Eel-tailed catfish PG), and Group 3 (Nile tilapia PG).

PG Extract Preparation

Pituitary glands were collected from mature donor fish of approximately equal weight to the recipient breeders (1:1 weight ratio). The glands were immediately removed, minced, and diluted with 0.3 mL water. The dosage administered to the breeders was 0.5 mL of the PG solution.

Injection and Observation

The PG extract was administered intramuscularly at the base of the dorsal fin. The time of injection was recorded. The breeders were then placed individually in 12 separate plastic basins with screened covers, filled with tap water (temperature: 28–29°C, salinity: 0 ppt, pH: 6.6–6.7) sourced from a deep well. The breeders were continuously monitored for signs of spawning, including increased activity, abdominal swelling, and egg release. The time from injection to the initiation of spawning (spawning latency) was recorded for each breeder.

Data Analysis

Spawning latency data were analyzed using one-way analysis of variance (ANOVA) to determine significant differences among treatment groups. A post-hoc (Duncan) test was performed to identify specific differences between group means. Statistical analyses were conducted using SPSS version 20. A significance level of $p < 0.05$ was used for all tests.

RESULTS AND DISCUSSION

Table 1 depicts the mean spawning latency of African catfish injected with PG extracts from different fish donors. ANOVA revealed that there was a significant difference ($p < 0.05$) between the three

treatment groups. The mean spawning latency for African catfish PG was 11.88 h, for eel-tailed catfish PG, it was 13.54 h, while tilapia PG resulted in a latency of 17.59 h. Post-hoc (Duncan) test revealed that African catfish and eel-tailed catfish pituitary gland (PG) extracts induced comparable spawning latencies ($p > 0.05$). This suggests that the PG from eel-tailed catfish possesses similar gonadotropic activity to that of the African catfish, rendering it a potentially effective alternative. This observation aligns with the concept that phylogenetically related species often exhibit similar hormonal profiles, as supported by studies demonstrating the efficacy of homologous or closely related species' PG in inducing spawning (Mylonas & Zohar, 2001). For instance, Elisdiana et al. (2021) suggested that pituitary gland injection from striped catfish (*Pangasius hypophthalmus*) head waste could enhance spawning performance in African catfish, further supporting the idea that using pituitary glands from closely related fish species can effectively stimulate ovulation.

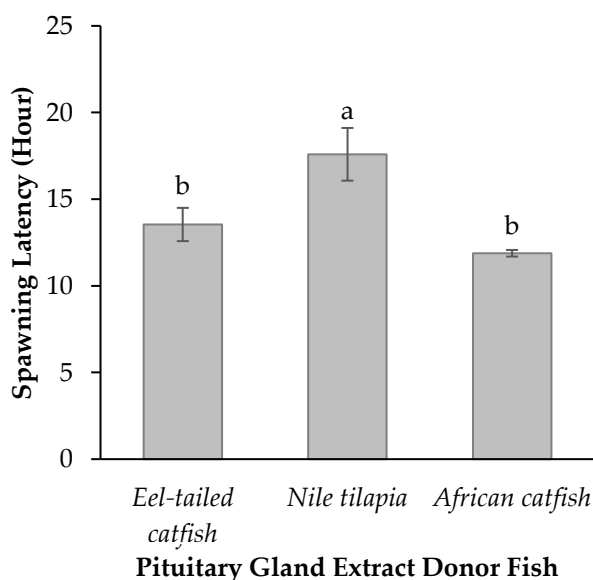


Figure 1. Spawning latency of African catfish using different pituitary gland extracts from different donor fish species

Conversely, Nile tilapia PG resulted in a significantly longer spawning latency of 17.59 h (Table 1), differing substantially from both African catfish and eel-tailed catfish PG extracts ($p < 0.05$). This prolonged latency may be attributed to inherent differences in the molecular structure or concentration of gonadotropins in Nile tilapia compared to the other

two species. Gonadotropins, specifically follicle-stimulating hormone (FSH) and luteinizing hormone (LH), play crucial roles in regulating reproductive processes (Oduwole et al., 2021). Differences in the amino acid sequences or glycosylation patterns of these hormones can affect their receptor binding affinity and biological activity (Swanson et al., 2003). It is crucial to note that while this study observed a positive response to Nile tilapia PG, contradicting some previous reports like that of Cortes & Ruaza (2018), who found no egg output, and Gadissa & Devi (2013) that found no effect, it does confirm the ability of the Nile tilapia PG to induce spawning. The observed difference in latency, however, suggests a potentially less efficient or slower stimulation of ovarian maturation in African catfish when using Nile tilapia PG. This discrepancy could also stem from variations in PG preparation methods or the physiological state of the donor fish (Peter & Yu, 1997).

The comparable effectiveness of eel-tailed catfish PG to African catfish PG is particularly significant for aquaculture practices. The use of eel-tailed catfish PG offers a cost-effective and ethically sound alternative, mitigating the need to sacrifice valuable African catfish breeders and reducing reliance on expensive synthetic hormones. This approach is highly practical for small-scale hatcheries, as eel-tailed catfish are readily available and economically viable. The cost-effectiveness of using readily available fish PG compared to synthetic hormones such as HCG or Ovaprim has been a strong consideration for many fish farmers (Olaniyi & Akinbola, 2013).

CONCLUSION

In conclusion, while Nile tilapia PG can induce spawning, the significantly longer latency suggests it may not be optimal for commercial African catfish hatcheries. In contrast, eel-tailed catfish PG emerges as a promising and practical alternative to African catfish PG, offering comparable effectiveness and addressing both economic and ethical concerns. Future research should focus on optimizing PG extraction and dosage protocols for eel-tailed catfish and exploring the underlying mechanisms responsible for the observed differences in spawning latency among the donor species. Detailed molecular

characterization of the gonadotropins in these species, as well as investigations into the effects of different PG preparation and storage methods, would further enhance our understanding and application of these alternative spawning induction techniques.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author is grateful to Precious Jade B. Albarico, Steven Harvey A. Apresto, Millani D. Barrion, Denise Vie M. Malutao, and Kharine Grace M. Querubin for assisting during the experiment.

Compliance with Ethical Standards

Conflict of Interest

The author declares that there is no conflict of interest.

Ethical Approval

For this type of study, formal consent is not required.

Funding

Not applicable.

Data Availability

The data that support the findings of this study are available from the corresponding author on request.

AI Disclosure

The author confirms that no generative AI was used in writing this manuscript or creating images, tables, or graphics.

REFERENCES

- Bromage, N. R., & Roberts, R. J. (1995). *Broodstock management and egg quality*. Wiley-Blackwell.
- Cortes, J. R., & Ruaza Jr., F. C. (2018). Induced spawning activity of African catfish (*Clarias gariepinus*) using different pituitary gland extracts. *SDSSU Multidisciplinary Research Journal*, 6, 14-17.
- Crim, L. W., Peter, R. E., & Billard, R. (1976). Stimulation of gonadotropin secretion by intraventricular injection of hypothalamic extracts in the goldfish, *Carassius auratus*. *General and Comparative Endocrinology*, 30(1), 77-82. [https://doi.org/10.1016/0016-6480\(76\)90068-X](https://doi.org/10.1016/0016-6480(76)90068-X)
- De Graaf, G. J., & Janssen, H. H. (1996). *Artificial reproduction and pond rearing of the African catfish, Clarias gariepinus, in sub-Saharan Africa: A handbook*. FAO Fisheries Technical Paper. No. 362. Rome, FAO.
- Donaldson, E. M. (1996). Manipulation of reproduction in farmed fish. *Animal Reproduction Science*, 42(1-4), 381-392. [https://doi.org/10.1016/0378-4320\(96\)01555-2](https://doi.org/10.1016/0378-4320(96)01555-2)
- Elisdiana, Y., Aquardo, D. V., Sarida, M., Hudaidah, S., Susanti, O., & Yusup, M. W. (2021). Study of pituitary gland extract utilization from striped catfish waste for reproduction performance improvement of north African catfish (*Clarias gariepinus*). *e-Jurnal Rekayasa dan Teknologi Budidaya Perairan*, 9(2), 1109-1116. <https://doi.org/10.23960/jrtbp.v9i2.p1109-1116>
- Gadissa, S., & Devi, L. P. (2013). Evaluation of spawning induction of African catfish (*Clarias gariepinus*) by heteroplastic hypophysation. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 1(1), 22-25
- Houssay, B. A. (1931). Action sexuelle de l'hypophyse sur les poissons et les reptiles. *Comptes Rendus des Seances de la Societe de Biologie et de Ses Filiales*, 106, 377-378.
- Marte, C. (1989). Hormone-induced spawning of cultured tropical finfishes. *Proceedings of the Advances in Tropical Aquaculture, Workshop at Tahiti, French Polynesia, France*. pp. 519-539.
- Mylonas, C. C., & Zohar, Y. (2000). Use of GnRH-delivery systems for the hormonal induction of ovulation in fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 10(4), 463-491. <https://doi.org/10.1023/A:1012279814708>

- Mylonas, C. C., & Zohar, Y. (2001). Endocrine regulation and artificial induction of oocyte maturation and spermiation in basses of the genus *Morone*. *Aquaculture*, 202(3-4), 205-220. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00772-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00772-4)
- Oduwole, O. O., Huhtaniemi, I. T., & Misrahi, M. (2021). The roles of luteinizing hormone, follicle-stimulating hormone and testosterone in spermatogenesis and folliculogenesis revisited. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(23), 12735. <https://doi.org/10.3390/ijms222312735>
- Olaniyi, C. O., & Akinbola, D. O. (2013). Comparative studies on the hatchability, performance and survival rate of African catfish (*Clarias gariepinus*) larval produced: using ovaprim and catfish pituitary extract hormones. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 3(9), 57-62.
- Peter, R. E., & Yu, K. L. (1997). Neuroendocrine regulation of ovulation in fish: Basic and applied aspects. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 7(2), 173-197. <https://doi.org/10.1023/A:1018431610220>
- Swanson, P., Dickey, J. T., & Campbell, B. (2003). Biochemistry and physiology of fish gonadotropins. *Fish Physiology and Biochemistry*, 28, 53-59. <https://doi.org/10.1023/B:FISH.0000030476.73360.07>
- Zohar, Y., & Mylonas, C. C. (2001). Endocrine manipulations of spawning in cultured fish: From hormones to genes. *Aquaculture*, 197(1-4), 99-136. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00584-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00584-1)



Enhancing Process Efficiency in Industry Through Statistical Process Control: Study of Aspartyl Phenylalanine Methyl Ester

Mostafa Essam Eissa¹ 

¹ Independent Researcher, Pharmaceutical and Healthcare Research Facility, Cairo, Egypt; mostafaessameissa@yahoo.com

✉ Corresponding Author: mostafaessameissa@yahoo.com

Please cite this paper as follows:

Essam Eissa, M. (2025). Enhancing Process Efficiency in Industry Through Statistical Process Control: Study of Aspartyl Phenylalanine Methyl Ester. *Acta Natura et Scientia*, 6(1), 37-45. <https://doi.org/10.61326/actanatsci.v6i1.267>

ARTICLE INFO

Article History

Received: 30.05.2024

Revised: 02.05.2025

Accepted: 21.05.2025

Available online: 23.06.2025

Keywords:

L-aspartyl-L-phenylalanine methyl ester

Quality control

Process assessment

Statistical distributions

Sweetening agents

Statistical process control

A B S T R A C T

Statistical Process Control (SPC) is a critical methodology within the medicinal chemical industry, employed to guarantee the safety, efficacy, and consistency of chemical products. SPC facilitates the identification of deviations from established specifications, thereby minimizing process variability and waste, and ultimately enhancing customer satisfaction. L-aspartyl-L-phenylalanine methyl ester, an artificial sweetener characterized by its low caloric content, represents a manufacturing process that necessitates diligent monitoring and control. Despite its inherent advantages, the implementation of SPC presents certain challenges, including the judicious selection of appropriate data, the accurate interpretation of analytical results, and the seamless integration with existing quality management systems. Data corresponding to selected inspection attributes were imported into Minitab version 17.1.0 for subsequent statistical analysis. Descriptive statistics, encompassing metrics such as mean, standard deviation, skewness, and kurtosis, were calculated for each parameter to provide an initial characterization of the data distribution. The Anderson-Darling test was employed to formally assess the normality of the data distribution. In instances of non-normal data, various transformations, including square root, logarithm, reciprocal, Johnson, and Box-Cox transformations, were explored. The Anderson-Darling test was reapplied to the transformed data to evaluate the effectiveness of these transformations in achieving normality. For data that remained non-normal after initial transformation attempts, the Box-Cox transformation with a lambda (λ) value of 0.5 was applied using Minitab's "Identify Distribution" feature. A comprehensive Process Capability Six-pack Report was subsequently generated for each parameter (specifically, optical rotation, loss on drying, and assay) following the transformation process, utilizing Minitab's "Process Capability Six-pack" functionality. This report comprises six distinct graphical representations and detailed statistical outputs summarizing process performance. Analysis of the optical rotation data indicated a process that, while statistically stable, lacked the necessary capability to consistently meet specifications, suggesting a clear need for process improvement. The study of loss on drying for L-aspartyl-L-phenylalanine 1-methyl ester revealed a process that was neither stable nor capable in the short term, with observed instability and excursions noted in

the control chart components of the report. The assay data, which demonstrated a lognormal distribution, indicated a process that was neither statistically stable nor capable of meeting the required specifications, underscoring the imperative for significant process enhancement. To improve long-term process capability for all parameters, it is essential to identify and systematically eliminate the underlying factors contributing to process variation, coupled with the implementation of continuous monitoring and control strategies. The implementation of reinforced monitoring protocols and the application of continuous process assessment utilizing advanced statistical methodologies can substantially contribute to improved quality assurance outcomes and enhanced process efficiency within the medicinal chemical industry.

INTRODUCTION

Quality control is a vital aspect of the chemical industry, as it ensures the safety, efficacy, and consistency of chemical products (ASQ, 2024). One of the most widely used methods of quality control is statistical process control (SPC), which involves the collection and analysis of data to monitor and improve the performance of a process (Montgomery, 2008). SPC can help detect and prevent deviations from the desired specifications, reduce variability and waste, and enhance customer satisfaction (Montgomery, 2012; ASQ, 2024). However, SPC also poses some challenges and limitations, such as the selection of appropriate data, methods, and tools, the interpretation and communication of results, and the integration of SPC with other quality systems (Bizfluent, 2021). SPC is based on the principle that every process is subject to variation, which can be classified into two types: common cause and special cause (Box & Cox, 1964). Common cause variation is inherent in the process and is due to random factors that are difficult to identify and control (Wheeler, 2000). Special cause variation is not inherent in the process and is due to assignable factors that can be identified and eliminated (Adler et al., 2011).

SPC aims to distinguish between these two types of variation and take appropriate actions accordingly. One of the main tools of SPC is the control chart, which is a graphical display of a process variable over time, with a center line representing the average value and control limits representing the expected range of variation (Oakland, 2003). Control charts can help determine whether a process is in a state of statistical control, meaning that it only exhibits common cause

variation, or out of control, meaning that it exhibits special cause variation. Control charts can also help identify trends, cycles, and shifts in the process behavior (Berardinelli, 2013). Another tool of SPC is capability analysis, which is a numerical and graphical evaluation of how well a process meets the customer requirements or specifications (Kane, 1986).

Capability analysis can help measure the performance of a process, compare it with the desired standards, and identify areas for improvement (Eissa & Hamed, 2019). Capability analysis can also help assess the potential of a process, assuming that it is in a state of statistical control, and the actual performance of a process, considering the observed variation (Montgomery, 2013). SPC has been applied to various processes and products in the chemical industry, such as the synthesis, purification, formulation, and packaging of chemicals (Chen et al., 2018). SPC can help ensure the quality and safety of chemical products, such as medicinal and food excipients: N- (L- α -aspartyl)-L-phenylalanine, 1-methyl ester (IUPAC name), a low-calorie artificial sweetener used in various food and beverage products (Chemsrc, 2024). N- (L- α -aspartyl)-L-phenylalanine, 1-methyl ester is a dipeptide composed of two amino acids, aspartic acid and phenylalanine, and has a complex and sensitive manufacturing process that requires careful monitoring and control (Rozet et al., 2013).

The present study aimed to examine three sets of process capability six-pack reports for L-aspartyl phenylalanine methyl ester, which are comprehensive reports that include six graphs: an individual (I)-chart, a moving range chart, an individual observations plot, a capability histogram with normal curve overlay, a

specialized plot (probability plot), and a capability plot. The reports analyze three quality characteristics of N- (L- α -aspartyl)-L-phenylalanine, 1-methyl ester: specific optical rotation, loss on drying, and assay. Each report provides information on the stability and capability of the process, such as the mean, the standard deviation, the control limits, the specification limits, the Cp, the Cpk, the Pp, and the Ppk.

MATERIAL AND METHODS

Materials

Data was collected for specific optical rotation, loss on drying, and assay of N- (L- α -aspartyl)-L-phenylalanine, 1-methyl ester samples from an international chemical manufacturing plant for medicinal compounds based in Asia (Eissa & Mahmoud, 2016; Eissa & Abid, 2018; Eissa, 2016a, 2018a). The raw material specimens were analysed according to the standard official monograph (United States Pharmacopeia, 2023; British Pharmacopoeia Commission, 2024). Minitab® version 17.1.0 commercial software package was used for statistical analysis (Baldassarre et al., 2004; McGraw Hill Education, 2014).

Methods

Distribution Identification

The data was first imported into Minitab version 17 from an Excel file containing the databases. Descriptive statistics were calculated for each parameter (specific optical rotation, loss on drying, and assay) to provide an initial understanding of the data distribution, such as mean, standard deviation, skewness, and kurtosis (Montgomery, 2012). The Anderson-Darling test was employed to check the normality of the data for each parameter. The null hypothesis was that the data follows a normal distribution, and the alternative hypothesis was that the data does not follow a normal distribution (Montgomery, 2013).

A significance level of 0.05 was used for the test. If the p-value was less than 0.05, the null hypothesis was rejected and the data was considered non-normal (Eissa, 2016b). For non-normal data, various

transformations were explored to achieve normality, such as square root, logarithm, reciprocal, Johnson and Box-Cox. The transformed data was then tested again for normality using the Anderson-Darling test (Box & Cox, 1964; Montgomery, 2008). The transformation that resulted in the highest p-value and the lowest skewness and kurtosis was selected as the best transformation.

Application of Six-pack for Non-Normal Data

In cases where data remained non-normal after transformation attempts, the Box-Cox transformation with $\lambda=0.5$ was applied using Minitab's "Identify Distribution" feature (McGraw Hill Education, 2014). This feature allows the user to compare the data to different distributions and select the best fit based on the p-value, the Anderson-Darling statistic, and the graphical fit (Montgomery, 2013). Process Capability Six-pack Report was generated for each parameter (specific optical rotation, loss on drying, assay) post-transformation using Minitab's "Process Capability Six-pack" feature (McGraw Hill Education, 2014).

This feature allows the user to create a comprehensive report that includes six graphs: an I-chart, a moving range chart, an individual observations plot, a capability histogram with normal curve overlay, a specialized plot (gamma pass plot, Box-Cox transformation plot, or lognormal probability plot), and a capability plot (Wheeler, 2000; Oakland, 2003; Montgomery, 2012). The report provides information on the stability and capability of the process, such as the mean, the standard deviation, the control limits, the specification limits, the Cp, the Cpk, the Pp, and the Ppk (Kane, 1986; Montgomery, 2008). The titles and subtitles of the graphs were customized to include the relevant statistics for each parameter, such as the mean, the standard deviation, the control limits, the specification limits, the Cp, the Cpk, the Pp, and the Ppk (Montgomery, 2012).

RESULTS AND DISCUSSION

Figure 1 shows process capability six-pack reports for N- (L- α -aspartyl)-L-phenylalanine, 1-methyl ester (N- (L- α -aspartyl)-L-phenylalanine, 1-methyl ester). The reports show the stability and capability of three quality characteristics of N- (L- α -aspartyl)-L-

phenylalanine, 1-methyl ester: specific optical rotation, loss on drying, and assay. Six graphics are included in each report: an individual observations plot, a moving range chart, an I-chart, a capability histogram with normal curve overlay, a specialized plot (gamma pass plot, Box-Cox transformation plot, or lognormal probability plot), and a capability plot. The reports indicate that the process for loss on drying is not stable and capable in the short term, while the processes for specific optical rotation are stable but not capable and assay data are neither stable nor capable.

Specific optical rotation is a measure of how much N- (L- α -aspartyl)-L-phenylalanine, 1-methyl ester rotates the plane of polarized light, which indicates its purity and identity (International Council for Harmonisation, 2005; Vaccaro, 2012; United States Pharmacopeia, 2019). The I-chart and the moving range chart show that the process is stable, as the data points are within the control limits (Oakland, 2003; Montgomery, 2013). However, the capability histogram reveals that the data is not normally distributed, as it is skewed, meaning that it is not symmetric around its mean. The gamma pass plot, which compares the data to a gamma dispersion pattern, suggests that the process is not capable, as the data points are outside the specification limits (Oakland, 2003; Montgomery, 2013). This means that the process needs to be improved to meet the acceptance criteria requirements.

Specific optical rotation is an important quality characteristic of N- (L- α -aspartyl)-L-phenylalanine, 1-methyl ester, as it reflects its molecular structure and composition (United States Pharmacopeia, 2019). A high degree of optical rotation indicates a high purity and identity of N- (L- α -aspartyl)-L-phenylalanine, 1-methyl ester, which is desirable for its safety and efficacy (International Council for Harmonisation, 2005; Vaccaro, 2012). The process for measuring specific optical rotation should be stable and capable, meaning that it should produce consistent and accurate results that meet the specification limits (Montgomery, 2008). However, the graphs show that the process is not capable, as the data points are outside the specification limits. This implies that some factors affect the optical rotation of N- (L- α -aspartyl)-L-phenylalanine, 1-methyl ester, such as temperature,

pH, solvent, concentration, or impurities. These factors should be identified and controlled by the manufacturer to improve the process capability and ensure the quality of N- (L- α -aspartyl)-L-phenylalanine, 1-methyl ester.

Loss on drying is a measure of how much moisture is present in N- (L- α -aspartyl)-L-phenylalanine, 1-methyl ester, which affects its shelf life and stability (Xiao & Choi, 2002). The I-Chart and the moving range chart indicate that the process is not stable, as some data points are outside the upper control limit (Montgomery, 2012). The distribution identification screening shows that the data is not normally distributed, as it is skewed due to aberrant points of the dataset. However, after applying a Box-Cox transformation with $\lambda=0.5$, the data appears to be normally distributed as appeared in the capability histogram and the normal probability plot (Box & Cox, 1964; Montgomery, 2012). The Capability plot, which compares the data with the benchmark reference, indicates that the process is capable and under control, as the data points are within the specification limits for short-term capability (Kane, 1986). This means that the process meets the official specification criteria. This is in contrast to the overall capability.

Another crucial feature of N-(L- α -aspartyl)-L-phenylalanine, 1-methyl ester is its loss during drying, which indicates its stability and moisture content. Low moisture content and good stability of N-(L- α -aspartyl)-L-phenylalanine, 1-methyl ester are indicated by a low degree of loss upon drying, which is advantageous for storage and shelf life. The process for measuring loss on drying should be stable and capable, meaning that it should produce consistent and accurate results that meet the specification limits (Eissa, 2018b). The graphs show that the process is stable and capable for the short term only, as the data points are within the control limits and the specification limits. However, the data is not normally distributed, as it is skewed to the left. This implies that there are some outliers or extreme values that affect the distribution of the data. To overcome this problem, a Box-Cox transformation with $\lambda=0.5$ is applied, which transforms the data to a normal distribution (Box & Cox, 1964; Kourti & MacGregor, 1996). This

transformation improves the data analysis and the process capability and ensures the quality monitoring of N- (L- α -aspartyl)-L-phenylalanine, 1-methyl ester.

Moreover, further interpretation showed that the process for measuring loss on drying for N- (L- α -aspartyl)-L-phenylalanine, 1-methyl ester is consistent and accurate in the short term, but not in the long term. This means that the process can meet the specification limits for a small sample of data, but not for a larger sample of data that includes external factors that may affect the process. Some possible reasons for this discrepancy are (Wheeler, 2000; Oakland, 2003; Montgomery, 2008; Eissa et al., 2021, 2023a, 2023b):

- The process is subject to drift or shift over time, which causes the mean or the variation of the process to change (Eissa & Abid, 2018).
- The process is influenced by special causes of variation, such as changes in raw material, equipment, environment, operator, or measurement system.
- The process is not in a state of statistical control, which means that the process output is unpredictable and unstable. To improve the long-term capability of the process, the following steps are recommended:
- Identify and eliminate the sources of variation that affect the process in the long term, using tools such as a cause-and-effect graph (Ishikawa or fishbone diagram) and Pareto chart (Majeske & Hammett, 2003; Montgomery, 2012).
- Monitor and control the process using statistical process control (SPC) techniques, such as control charts, run charts, or process behavior charts (Wheeler, 2000; Oakland, 2003; Montgomery, 2013).
- Perform regular process audits and reviews to ensure the process is maintained and improved over time (Eissa et al., 2021, 2023b).

The assay is a measure of how much N- (L- α -aspartyl)-L-phenylalanine; 1-methyl ester is present in the sample, which reflects its potency and

concentration (Chemsrsc, 2024). The I-chart and the moving range chart show that the process did not show stable variation at the beginning, as the data points are not all within the control limits (Montgomery, 2008). The lognormal probability plot, which compares the data to a lognormal distribution, indicates that the data is well-fitted by the lognormal spreading (Montgomery, 2012). The capability plot, which compares the data to the lognormal dispersion pattern, indicates that the process is not capable, as the data points are outside the specification limits (Kane, 1986). This means that the process needs to be improved to meet the requirements of the specifications.

The assay is the most important quality characteristic of N- (L- α -aspartyl)-L-phenylalanine, 1-methyl ester, as it reflects its amount and strength in the sample. A high degree of assay indicates a high amount and strength of N- (L- α -aspartyl)-L-phenylalanine, 1-methyl ester, which is desirable for its effectiveness and dosage (Chemsrsc, 2024). The process for measuring assay should be stable and capable, meaning that it should produce consistent and accurate results that meet the specification limits (Montgomery, 2013). However, the graphs show that the process is not capable, as the data points are outside the specification limits. The data is well-fitted by the lognormal distribution, which is a common distribution for assay data. This distribution reflects the multiplicative nature of assay data, as it is influenced by factors such as dilution, extraction, and calibration (Rozet et al., 2013). However, the lognormal distribution does not guarantee a good process capability, as the data points are still outside the specification limits. This implies that some factors affect the assay of N- (L- α -aspartyl)-L-phenylalanine, 1-methyl ester, such as degradation, contamination, or measurement error (Chen et al., 2018). These factors should be identified and controlled to improve the process capability and ensure the quality of N- (L- α -aspartyl)-L-phenylalanine, 1-methyl ester.

The multiplicative nature of assay data might highlight that the data values are not additive, but rather multiplicative (Box & Draper, 1987; Wright & Royston, 1999; Eissa, 2017). This means that the data

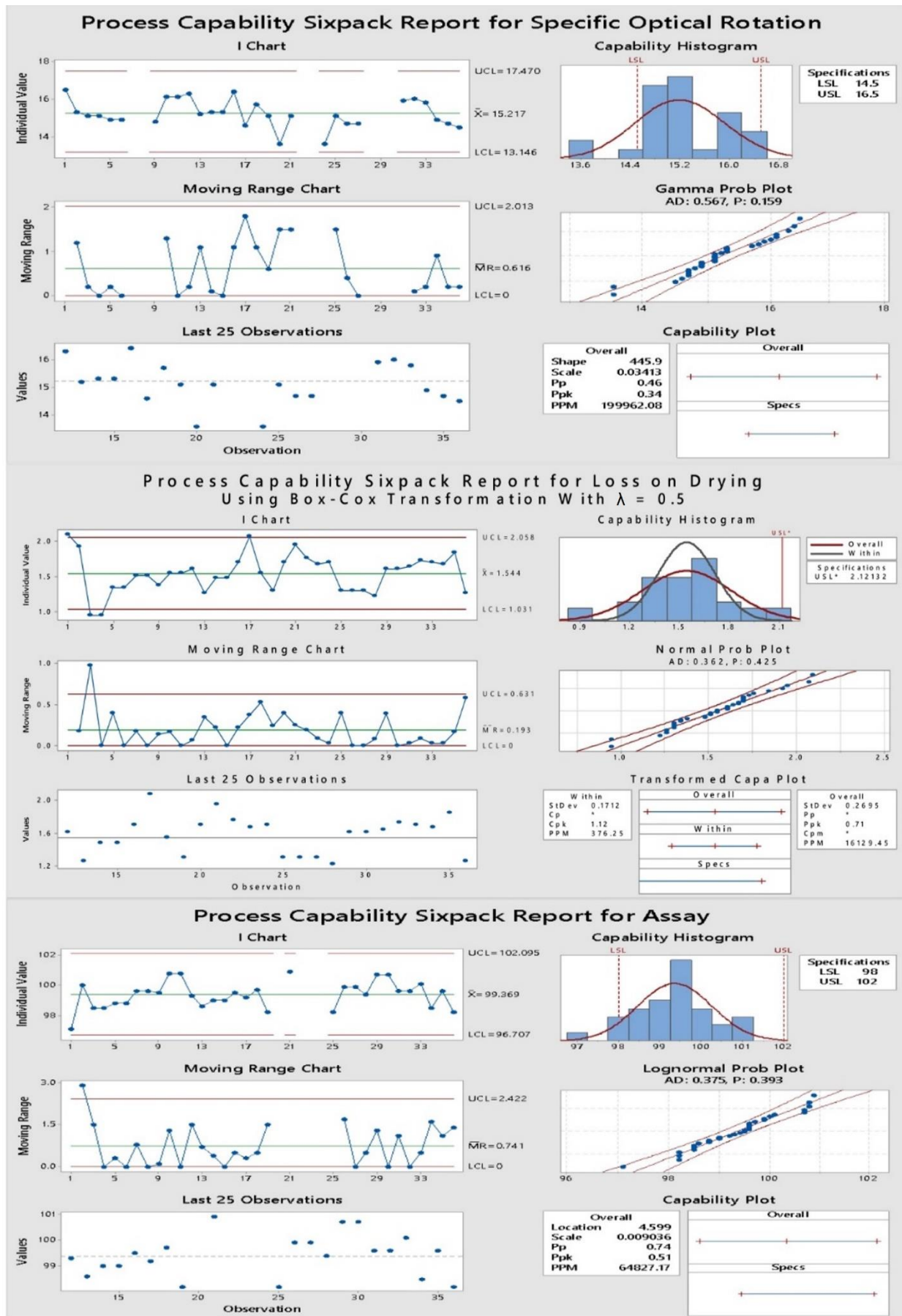


Figure 1. Process Capability Sixpack Reports for N- (L- α -aspartyl)-L-phenylalanine, 1-methyl ester (N- (L- α -aspartyl)-L-phenylalanine, 1-methyl ester). The reports show the stability and capability of three quality characteristics of N- (L- α -aspartyl)-L-phenylalanine, 1-methyl ester

values are influenced by factors that multiply or divide the original value, rather than add or subtract from it (Box & Draper, 1987). For example, if the original value of an assay is 100, and the factor is 0.9, then the resulting value is 90, which is obtained by multiplying 100 by 0.9 (Wright & Royston, 1999). Similarly, if the factor is 1.1, then the resulting value is 110, which is obtained by multiplying 100 by 1.1. This is different from additive data, where the resulting value is obtained by adding or subtracting a constant from the original value (Eissa, 2016b, 2017). For example, if the original value is 100, and the constant is 10, then the resulting value is either 90 or 110, depending on whether the constant is subtracted or added. In biological and chemical assays, when the data values are influenced by variables like dilution, extraction, and calibration, the multiplicative character of assay data is frequently observed. These factors can change the concentration or potency of the analyte, which is the substance being measured by the assay. The lognormal distribution is a common distribution for multiplicative data, as it can model the variability and skewness of the data (Box & Draper, 1987; Wright & Royston, 1999; Eissa, 2017). The lognormal distribution is defined by the logarithm of the data values, which are normally distributed. Therefore, to analyze multiplicative data, it is often necessary to transform the data by taking the logarithm, which converts the data to additive data. This transformation can improve the data analysis and the process capability, as it can reduce the skewness and the variability of the data (Box & Draper, 1987; Wright & Royston, 1999; Eissa et al., 2016; Eissa, 2017).

CONCLUSION

SPC has many benefits for the chemical industry, such as: (i) improving the quality and consistency of chemical products by detecting and preventing deviations from the specifications, (ii) reducing the costs and risks associated with rework, scrap, waste, defects, recalls, and customer complaints, (iii) enhancing the efficiency and productivity of the processes by optimizing the operating conditions and reducing the variability and downtime, (iv) increasing the customer satisfaction and loyalty by meeting or exceeding their expectations and requirements. However, SPC has some challenges and limitations,

such as: (i) selecting the appropriate data, methods, and tools for the specific process and product, considering the type, size, frequency, distribution, and transformation of the data, (ii) interpreting and communicating the results of the SPC analysis, considering the statistical significance, practical relevance, and uncertainty of the findings, (iii) integrating SPC with other quality systems, such as quality by design, quality risk management, and quality assurance, to achieve a holistic and systematic approach to quality management.

The previous analysis showed that the consistency of the raw chemical quality is not adequate and further improvements for the quality of the initial batches are needed through customization and optimization of the key manufacturing procedures. These insights are crucial in ensuring quality control and consistency in N- (L- α -aspartyl)-L-phenylalanine, 1-methyl ester production. As future perspective, enhancing monitoring protocols to optimize specific optical rotation, loss-on-drying and assay processes can lead to improved quality assurance. Continuous assessment using advanced statistical tools will be pivotal in achieving enhanced process efficiency.

Compliance with Ethical Standards

Conflict of Interest

The author declares that there is no conflict of interest.

Ethical Approval

For this type of study, formal consent is not required.

Funding

Not applicable.

Data Availability

The data that support the findings of this study are available from the corresponding author on request.

AI Disclosure

The author confirms that no generative AI was used in writing this manuscript or creating images, tables, or graphics.

REFERENCES

- Adler, Y., Shper, V., & Maksimova, O. (2011). Assignable causes of variation and statistical models: Another approach to an old topic. *Quality and Reliability Engineering International*, 27(5), 623-628. <https://doi.org/10.1002/qre.1168>
- ASQ. (2024). *What is statistical process control? SPC quality tools*. American Society for Quality (ASQ). Retrieved on May 30, 2024, from <https://asq.org/quality-resources/statistical-process-control?srltid=AfmBOooBmOFvZHSBu6m5jwAG8wAU IVdde F joVw6WBYnu8PmecOcyY>
- Baldassarre, T., Boffoli, N., Caivano, D., & Visaggio, G. (2004). Managing software process improvement (SPI) through statistical process control (SPC). In F. Bomarius, & H. Iida (Eds.), *Product Focused Software Process Improvement. PROFES 2004. Lecture Notes in Computer Science, vol 3009*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-24659-6_3
- Berardinelli, C. (2013, March 7). *A guide to control charts*. iSixSigma. Retrieved on May 30, 2024, from <https://www.isixsigma.com/control-charts/a-guide-to-control-charts/>
- Bizfluent. (2021, January 25). *What are the disadvantages of SPC?* Retrieved on May 30, 2024, from <https://bizfluent.com/info-12044671-disadvantages-spc.html>
- Box, G. E. P., & Cox, D. R. (1964). An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 26(2), 211-252. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1964.tb00553.x>
- Box, G. E. P., & Draper, N. R. (1987). *Empirical model-building and response surfaces*. John Wiley and Sons.
- British Pharmacopoeia Commission. (2024). *British pharmacopoeia* (2024 ed.). The Stationery Office.
- Chemsrc. (2024). Aspartame | CAS#:22839-47-0. Retrieved on January 11, 2024, from https://www.chemsrc.com/en/cas/22839-47-0_15039.html
- Chen, Y., Wang, J., Zhang, Y., & Li, Z. (2018). Statistical process control for quality improvement of aspartame production. *Journal of Cleaner Production*, 172, 2840-2848. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.088>
- Eissa, M. E. (2016a). Microbiological assessment of compressed air at a pharmaceutical industry: statistical process control. *Journal of Applied Pharmaceutical Sciences*, 3(1), 23-28.
- Eissa, M. E. (2016b). Shewhart control chart in microbiological quality control of purified water and its use in quantitative risk evaluation. *Pharmaceutical and Biosciences Journal*, 4(1), 45-51. <https://doi.org/10.20510/ukjpb/4/i1/87845>
- Eissa, M. E. (2017). Application of control charts in quality characteristics evaluation of microbiological media. *Journal of Advanced Research in Pharmaceutical Sciences and Pharmacology Interventions*, 1(1), 1-13.
- Eissa, M. E. (2018a). Role of statistical process control of pharmaceutical product to monitor consistency of the manufacturing operation. *EC Pharmacology and Toxicology*, 6(6), 439-444.
- Eissa, M. E. (2018b). Variable and attribute control charts in trend analysis of active pharmaceutical components: Process efficiency monitoring and comparative study. *Experimental Medicine*, 1(1), 31-44.
- Eissa, M. E., & Abid, A. M. (2018). Application of statistical process control for spotting compliance to good pharmaceutical practice. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 54(2), e17499. <https://doi.org/10.1590/s2175-97902018000217499>
- Eissa, M. E., & Hamed, H. S. (2019). Application of statistical quality control tools for monitoring of pharmaceutical product properties: SISPO, GxP, pharmaceutical product, drug properties. *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research Series B: Biological Sciences*, 62(1), 39-48. <https://doi.org/10.52763/PJSIR.BIOL.SCI.62.1.2019.39.48>
- Eissa, M. E., & Mahmoud, A. (2016). Evaluation of microbial recovery from raw materials for pharmaceutical use. *Journal of Food and Pharmaceutical Sciences*, 4(1), 6-11.

- Eissa, M. E., Mahmoud, A. M., & Nouby, A. S. (2016). Statistical process control in the evaluation of microbiological surface cleanliness quality and spotting the defects in clean area of pharmaceutical manufacturing facility. *Haya: The Saudi Journal of Life Sciences*, 1(1), 17-24.
- Eissa, M., Rashed, E., & Eissa, D. E. (2021). Quality improvement in routine inspection and control of healthcare products using statistical intervention of long-term data trend. *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(2), 163-184.
- Eissa, M., Rashed, E., & Eissa, D. E. (2023b). Microbiological stability assessment of municipal distribution line using control chart approach for total bioburden count. *Health Academy Kastamonu*, 8(2), 363-383. <https://doi.org/10.25279/sak.1035879>
- Essam Eissa, M., Rashed, E. R., & Eissa, D. E. (2023). Case of preferential selection of attribute over variable control charts in trend analysis of microbiological count in water. *Acta Natura et Scientia*, 4(1), 1-9. <https://doi.org/10.29329/actanatsci.2023.353.01>
- International Council for Harmonisation (ICH). (2005). *International Conference on Harmonisation of Technical Requirements for Registration of Pharmaceuticals for Human Use. ICH Harmonised Tripartite Guideline: Pharmaceutical Development Q8(R2)*. Retrieved on May 30, 2024, from https://database.ich.org/sites/default/files/Q8_R2_Guideline.pdf
- Kane, V. E. (1986). Process capability indices. *Journal of Quality Technology*, 18(1), 41-52. <https://doi.org/10.1080/00224065.1986.11978984>
- Kourti, T., & MacGregor, J. F. (1996). Multivariate SPC methods for process and product monitoring. *Journal of Quality Technology*, 28(4), 409-428. <https://doi.org/10.1080/00224065.1996.11979699>
- Majeske, K. D., & Hammett, P. C. (2003). Identifying sources of variation in sheet metal stamping. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 15(1), 5-18. <https://doi.org/10.1023/A:1023993806025>
- McGraw Hill Education. (2014). *Minitab 14 manual*. Retrieved on May 30, 2024, from https://glencoe.mheducation.com/sites/0010126585/student_view0/minitab_14_manual.html
- Montgomery, D. C. (2008). *Introduction to statistical quality control* (6th ed.). John Wiley and Sons.
- Montgomery, D. C. (2012). *Introduction to statistical quality control* (7th ed.). John Wiley and Sons.
- Montgomery, D. C. (2013). *Statistical process control* (7th ed.). John Wiley and Sons.
- Oakland, J. S. (2003). *Statistical process control* (6th ed.). Butterworth-Heinemann.
- Rozet, E., Lebrun, P., Hubert, P., Debrus, B., & Boulanger, B. (2013). Design Spaces for analytical methods. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 102(3), 157-167. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2012.09.007>
- United States Pharmacopeia. (2019). *General Chapter <781> Optical Rotation*. Retrieved on May 30, 2024, from <https://www.usp.org/compounding/general-chapter-781-optical-rotation>
- United States Pharmacopeia. (2023). *The national formulary (USP 46-NF 41)*. United States Pharmacopeial Convention.
- Vaccaro, P. H. (2012). Optical rotation and intrinsic optical activity. In N. Berova, P. L. Polavarapu, K. Nakanishi & R. W. Woody (Eds.), *Comprehensive Chiroptical Spectroscopy: Instrumentation, Methodologies, and Theoretical Simulations, Volume 1* (pp. 275-323). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781118120187.ch11>
- Wheeler, D. J. (2000). *Understanding variation: The key to managing chaos* (2nd ed.). SPC Press.
- Wright, E. M., & Royston, P. (1999). Calculating reference intervals for laboratory measurements. *Statistical Methods in Medical Research*, 8(2), 93-112. <https://doi.org/10.1177/096228029900800202>
- Xiao, D., & Choi, M. M. (2002). Aspartame optical biosensor with bienzyme-immobilized eggshell membrane and oxygen-sensitive optode membrane. *Analytical Chemistry*, 74(4), 863-870. <https://doi.org/10.1021/ac001097a>



Assessment of Grain Color Parameters With Functional and SSR Markers in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.)

Sevilay Öztürk¹ • Deniz İştıpliler¹ • Fatma Aykut Tonk¹

¹ Ege University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops, İzmir, Türkiye; ozturksevillaay@gmail.com, deniz.istipliler@ege.edu.tr, fatma.aykut@ege.edu.tr

Corresponding Author: fatma.aykut@ege.edu.tr

Please cite this paper as follows:

Öztürk, S., İştıpliler, D., & Aykut Tonk, F. (2025). Assessment of Grain Color Parameters With Functional and SSR Markers in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Acta Natura et Scientia*, 6(1), 46-54. <https://doi.org/10.61326/actanatsci.v6i1.352>

ARTICLE INFO

Article History

Received: 07.04.2025

Revised: 03.06.2025

Accepted: 04.06.2025

Available online: 23.06.2025

Keywords:

Wheat

Grain color

Color parameters

Functional markers

A B S T R A C T

This study aimed to examine the relationships between grain color parameters and functional markers of color-controlling genes in wheat. Grain color parameters (L^* , a^* , b^* , C^* and h°) of the segregated genotypes in the F_2 generations of Byrd (red) \times Tosunbey (white) and Kayra (red) \times Cumhuriyet 75 (white) hybrids were measured. The F_2 genotypes with parents were screened with wheat grain color SSR marker (Xgwm155) and functional color markers (Tamyb10-A1, Tamyb10-B1 and Tamyb10-D1). The color alleles possessed by the parents were determined by functional markers. While the parents with white color (Tosunbey and Cumhuriyet 75) were determined to be homozygous recessive in terms of all three-color alleles, Byrd variety with red grain color was found to have the R-B1b allele, and Kayra variety was found to have the red color allele in terms of all three loci. In terms of color parameters, the average color parameter values in the F_1 generation and F_2 population of both hybrid combinations gave results closer to the parent with red grain color. In the Byrd \times Tosunbey F_2 population, the interaction of two markers (Xgwm155 \times Tamyb10-B1) in the L^* color parameter and the Xgwm155 marker in the Hue angle (h°) parameter were found to be important and explained the observed variation by approximately 11%. In the Kayra \times Cumhuriyet 75 F_2 population, the Tamyb10-B1 marker in the L^* parameter and Tamyb10-D1 in the b^* and C^* parameters were determined to be important and explained approximately 5% of the observed variation.

INTRODUCTION

Wheat varieties are divided into six classes according to simple hereditary genetic characteristics such as grain color, vernalization requirement and

seed hardness. These are winter red hard wheat, summer red hard wheat, white soft wheat, red soft wheat, hard white wheat and hard white wheat. The inheritance of grain color in wheat is controlled by three independent genes located on chromosomes 3A,

3B and 3D. In the formation of grain color, red color is created by R-A1b, R-B1b and R-D1b alleles, and white color is created by R-A1a, R-B1a and R-D1a alleles (McIntosh et al., 1998; Sherman et al., 2008). Red color is dominant over white color, and carrying a dominant allele at a single locus is sufficient for the red color to occur (Metzger & Silbaugh, 1970). The degree of red color has an additive effect, and genotypes carrying homozygous dominant alleles at three loci (R-A1b, R-B1b and R-D1b) produce a darker red color. White color occurs only in genotypes carrying homozygous recessive alleles (R-A1a, R-B1a and R-D1a) at three gene loci (Sherman et al., 2008).

The red pigment found in the grain coat of wheat consists of catechins and proanthocyanidins synthesized through flavonoid biosynthetic pathway (Himi et al., 2011) and causes bitter flavor and lower hydrolytic enzyme activity (Lachman et al., 2017). In wheat, flour color plays an important role in the end-use quality of wheat as it affects consumer preference, market value and human nutrition. The color of the grain and the final products obtained depend on genetic, environmental and processing factors (Guzman et al., 2022). It is known that hard and dark colored grains generally have higher value in terms of protein content and protein quality (Ünal, 2003). Likewise, it is accepted that hard red wheat has higher protein content and quality, as well as higher flour quality and final product quality (Slaughter et al., 1992; Kaldy et al., 1993; Şanal et al., 2012). Pre-harvest germination in wheat causes a decrease in flour quality due to starch breakdown. Generally, wheat with red grain color is more tolerant to pre-harvest germination than wheat with white grain. The relationship between these two traits is due to the pleiotropic effect of genes controlling grain color (Flintham, 2000; Warner et al., 2000; Himi et al., 2002, 2011).

The R-1 gene, which controls grain color as well as pre-harvest germination in bread wheat, is located in the end region of the long arms of homoeologous chromosomes 3A, 3B and 3D (Himi et al., 2011). It has been determined that the pigments in red wheat grain include flavonols and stilbenes, as well as catechin and proanthocyanidin (Miyamoto & Everson, 1958; McCallum & Walker, 1990; Matus-Cadiz et al., 2008;

Himi et al., 2011). Identification of the polymorphism that causes functional differences between alleles controlling grain color in wheat, detection of relevant markers and their use have revealed the possibility of cloning the grain color locus (Sherman et al., 2008). Himi et al. (2011) isolated Tamyb10-A1, Tamyb10-B1 and Tamyb10-D1 genes, which encode the protein that controls proanthocyanidin synthesis and activate flavonoid biosynthetic genes in wheat, and are localized on chromosomes 3A, 3B and 3D of wheat, respectively, and they developed functional DNA markers for the genes in question.

In this study, the grain color characteristics of each genotype in the F₁ and F₂ generations of two different hybrid combinations made between the wheat varieties differing in grain color were measured. Genotyping was performed using functional markers of the genes controlling grain color in the same F₂ genotypes and their parents, and the relationships between color measurements and genotyping results were examined.

MATERIAL AND METHODS

The research was conducted in the 2020-2021 wheat growing season in the Field Crops Department of the Faculty of Agriculture of Ege University, İzmir, Türkiye. In the experiment, the F₁ seeds of the Byrd × Tosunbey and Kayra × Cumhuriyet 75 hybrid combinations, which were obtained from the crosses conducted previous year, were planted with their parents to obtain F₂ generations. While the Byrd and Kayra varieties have red grain structure, Cumhuriyet-75 and Tosunbey varieties are white grain varieties used as parents in the hybrid combinations.

In the experiment, manual planting was done in rows with 20 cm row spacing and 1 m row length. In sowing, NPK 15:15:15 fertilizer was applied at 8 kg pure nitrogen per decare and urea fertilizer was applied at 8 kg pure nitrogen per decare during the stem extension period. Plants were grown under rainfed conditions, no extra irrigation was applied. Leaf samples were taken for DNA extraction from the parents and 100 randomly tagged plants in the F₂ populations when the plants reached approximately 15-20 cm in length and DNA isolations were made

according to the mini CTAB extraction method of Doyle & Doyle (1987). The amount of isolated genomic DNA was measured using a biophotometer (BioPhotometer, Eppendorf) at 260 nm wavelength and diluted to 25 ng/ μ l.

In the study, kernel color was determined molecularly using functional markers of Tamyb10-A1, Tamyb10-B1 and Tamyb10-D1 genes defined by Himi et al. (2011) and also SSR marker Xgwm155 (Sherman et al., 2008) (Table 1). Polymerase chain reaction was performed in Eppendorf mastercycler gradient PCR device according to the protocol specified by Aykut Tonk et al. (2016). SSR touchdown program (Aykut Tonk et al., 2016) was used for Xgwm155 marker, while specific PCR programs suggested by Himi et al. (2011) were used for functional markers. PCR products of functional color markers were run in 2% agarose gel using 1 \times TBE buffer in Thermo Scientific electrophoresis device at 85 V for approximately 2 hours. PCR products of the SSR marker were run on an 8% non-denaturing acrylamide gel using the Bio-Rad Protean II xi Cell device for approximately 16 hours at 90 V. After the gels were stained in pure water containing 2 μ g/ml ethidium bromide, they were viewed under UV light and images were taken with a digital camera.

Grain color measurements were made in terms of CIE $L^* a^* b^*$ using a colorimeter (Chrometer CR-400, Minolta Co., Tokyo, Japan) on the harvested seeds of individually labelled 100 plants from the F_2

populations as well as the F_1 generations and their parents.

In molecular evaluation, with the help of the parental bands, the bands obtained in F_2 individuals were scored as maternal (A), paternal (B) or heterozygous (H). Analysis of color traits was performed using the R v4.2.0 statistical package program (R Core Team, 2021). Before performing linear regression and ANOVA analyses, the model assumptions were tested. The normality of residuals was tested using the Shapiro-Wilk test. Homoscedasticity (equal variance of residuals) was checked via Breusch-Pagan test. Independence was checked by the Durbin-Watson test. All tested models satisfied these assumptions. Relationships between the molecular markers and the color parameters were examined using the *aov* function. Each character was fitted to the linear regression model using the *lm* function of the lmer4 package (Bates et al., 2015).

RESULTS AND DISCUSSION

The color parameter values of the parents, F_1 and F_2 generations are given in Table 2. When the table is examined, it is seen that the L^* value, which expresses lightness-darkness, has higher values in Tosunbey and Cumhuriyet 75 parents with white grain color than Byrd and Kayra parents with red grain color. It is understood that grains obtained from F_1 plants had lower L^* values than both parents and closer values to parents with red grain color.

Table 1. Base sequences of functional color markers and Xgwm155

Tamyb10-A1	Tamyb10-LP1	CTGAGCAAGAGGATGCTGC
	Tamyb10-RP1	GATGCCCTCCAGATCAAGGT
Tamyb10-B1	Tamyb10-LP2	AGCAAGAGGAACCTGCAGTC
	Tamyb10-RP1	GATGCCCTCCAGATCAAGGT
Tamyb10-D1	Tamyb10-LP3	CGCTGAGCAAGAGGAACCA
	Tamyb10-RP3	AGGCACACCAGCTTATTGG
Xgwm155	F	CAATCATTCCCCCTCCC
	R	AATCATTGGAAATCCATATGCC

In terms of the a^* color parameter, where + indicates red and - indicates green on the horizontal axis of the color diagram, it was observed that all parents and F₁ plants had a^+ value, and there were no major differences between the parents and F₁ generations except for the Cumhuriyet 75 parent. In terms of the b^* parameter, where + indicates yellow and - indicates blue on the vertical axis of the diagram, it was observed that the Byrd and Kayra parents with red grain color showed significantly lower values than the Tosunbey and Cumhuriyet 75 parents with white grain color, while the F₁ plants gave values closer to the parent with red grain color. In terms of the chroma (C^*) value, which indicates the vividness and dullness value of the color, the parents with red grain color had lower values than the parents with white grain color. It was observed that the C^* values of the F₁ generations of the hybrids made between these parents were closer to the parents with red grain color (Table 2). The hue angle (h°) value is the value that determines the color we perceive of the object, that is, the name of the

color. When the h° values observed in the parents and F₁ grains are examined, it is understood that there is a similar distribution for h° like the L^* , b^* and C^* parameters. The hue angle value was lower in the parents with red grain color and higher in those with white grain color. The average values of color parameters in the F₂ populations also showed values closer to the red parent except for two parameters (b^* and C^*) in the Kayra × Cumhuriyet 75 population. Transgressive segregations were observed for all color parameters in both F₂ populations (Table 2). In studies of quantitative traits, the generation of extreme phenotypes in segregating hybrid populations is referred to as transgressive segregation (Rieseberg et al., 1999). Transgressive segregation is a complex phenomenon in inheritance of kernel color which are controlled by three major genes. The additivity of allelic effects between the loci and within a locus and also novel allelic combinations caused transgressive segregation in all color parameters.

Table 2. Results of color parameters in the parents, F₁ and F₂ generations

Parent, F ₁ and F ₂	L*	a*	b*	C*	h°	Color
Byrd	50.71	7.36	19.94	21.25	69.74	Red
Tosunbey	53.91	7.23	23.56	24.64	72.94	White
Byrd × Tosunbey F ₁	48.51	7.81	19.10	20.64	67.76	-
Byrd × Tosunbey F ₂	50.01	7.86	19.26	20.81	67.77	-
Kayra	48.61	7.24	18.76	20.11	68.90	Red
Cumhuriyet 75	59.18	6.00	22.94	23.71	75.34	White
Kayra × Cumhuriyet F ₁	47.78	7.63	19.61	21.04	68.74	-
Kayra × Cumhuriyet F ₂	53.66	7.17	21.47	22.66	71.42	-

Table 3. Allele distribution of the R1 color gene in the parents

Parent	R-A1	R-B1	R-D1	Former Notation	Color
Byrd	a	b	A	r1r2R3	Red
Tosunbey	a	a	A	r1r2r3	White
Kayra	b	b	B	R1R2R3	Red
Cumhuriyet 75	a	a	A	r1r2r3	White

Table 4. Distribution of color markers in the F₂ populations and chi-square test results

Generation and Marker	Observed value	χ^2	P value
Byrd × Tosunbey F ₂			
Xgwm155	21:47:27	0.77	0.69>0.05
Tamyb10-B1	20:74	0.70	0.43>0.05
Kayra × Cumhuriyet 75 F ₂			
Tamyb10-B1	25:67	0.23	0.56>0.05
Tamyb10-D1	30:64	2.40	0.13>0.05

Table 5. p, R² values and regression coefficients of the markers for the color parameters in the Byrd × Tosunbey F₂ population

Marker	L*	a*	b*	C*	h°
Xgwm155	0.153374	0.2646	0.2453	0.4450	0.009781**
Tamyb10-B1	0.223949	0.7326	0.5666	0.6398	0.377644
Xgwm155 × Tamyb10-B1	0.007338**	0.1211	0.8736	0.8338	0.093165
R ²	0.1079	0.02358	-0.01761	-0.03224	0.1051
<i>Regression Coefficients</i>					
Xgwm155	7.35	0.51	3.57	3.52	9.75
Tamyb10-B1	6.07	0.26	1.37	1.36	8.33
Xgwm155 × Tamyb10-B1	-8.26	0.18	-2.01	-1.81	-9.98

The allele distributions of functional markers of Tamyb10-A1, Tamyb10-B1 and Tamyb10-D1 genes, which control grain color, in the parents are given in Table 3. According to the Tamyb10-A1 gene marker results, it was determined that both varieties Byrd and Tosunbey had the R-A1a allele. The same marker showed polymorphism between Kayra and Cumhuriyet 75 varieties, and it was determined that the Kayra parent had the R-A1b allele and the Cumhuriyet 75 parent had the R-A1a allele. Tamyb10-B1 gene color marker showed polymorphism between both Byrd / Tosunbey and Kayra / Cumhuriyet 75 varieties. It was determined that Tosunbey and Cumhuriyet 75 varieties with white grain color had the R-B1a allele. While the Tamyb10-D1 gene marker showed monomorphism in Byrd and Tosunbey

varieties, it gave polymorphic results between Kayra and Cumhuriyet 75 varieties. When the results are examined; it was determined that Byrd, Tosunbey and Cumhuriyet 75 varieties had the R-D1a allele, while Kayra variety had the R-D1b allele. In terms of color alleles, among the varieties used as parents, it was determined that Byrd variety had the R-A1a, R-B1b and R-D1a alleles, Tosunbey variety had the R-A1a, R-B1a and R-D1a alleles, Kayra variety had the R-A1b, R-B1b and R-D1b alleles and Cumhuriyet 75 variety had R-A1a, R-B1a and R-D1a alleles (Table 3).

White grain wheat varieties are homozygous for R-A1a, R-B1a and R-D1a recessive alleles (r₂, r₃ and r₁ in the old notation, respectively). The presence of one or more dominant alleles R-A1b, R-B1b and/or R-D1b (old notation R₂, R₃ and R₁, respectively) causes red

pigmentation on the grains (McIntosh et al., 1998; Himi et al., 2011). While the Byrd variety with red grain color is dominant in terms of a single gene (R-B1b), the Kayra variety with the other red grain color is dominant in terms of all three genes. Tosunbey and Cumhuriyet 75 varieties, which have white grain color, are homozygous recessive in terms of all genes. The functional color markers have been successful in distinguishing color alleles of the parental genotypes. The obtained allele distributions of the varieties were found to be in agreement with the research results of Himi et al. (2011).

The Xgwm155 marker used in the study showed polymorphic results between Byrd / Tosunbey and Kayra / Cumhuriyet 75 varieties. This marker was developed by Sherman et al. (2008) and located on chromosome 3A in the wheat genome, the band sizes obtained differed in varieties with the same grain color. The researchers also stated that all of the bands obtained with Xgwm155 were different in genotypes with two white (MTHW0202 and MTHW0471) and two red grain colors (Chhoteau & Vida), but that this marker was useful in distinguishing individuals.

The distribution of color markers showing polymorphic results between the parents in F₂ population is given in Table 4. According to chi-square analysis, the results of the Xgwm155 marker in the Byrd × Tosunbey F₂ population, the genotypic segregation in the population was determined to be in

accordance with the 1: 2: 1 ($\chi^2 = 0.77$, $P = 0.69$). In the same population, the genotypic segregation of the dominant Tamyb10-B1 marker was determined to be compatible with a 3:1 distribution ($\chi^2 = 0.70$, $P = 0.43$). Tamyb10-B1 ($\chi^2 = 0.23$, $P = 0.56$) and Tamyb10-D1 ($\chi^2 = 2.40$, $P = 0.13$) markers, both dominant, similarly differentiated F₂ individuals of Kayra × Cumhuriyet 75 in accordance with the 3:1 genotypic segregation (Table 4). The distributions of the markers in both populations were found to be compatible with the expected theoretical distributions. Himi et al. (2011), emphasized that grain color in wheat is determined by the phenotype of F₃ grains obtained from F₂ plants, and these are controlled by the F₂ genotype.

The effect of color markers for each color parameter used in the study was examined by using a linear regression model. The p and R² values obtained from the summary of the results performed for the Byrd × Tosunbey F₂ population are given in Table 5. It was determined that the interaction of two markers (Xgwm155 × Tamyb10-B1) in the L* color parameter was significant at the 0.01 statistical level. In the hue angle (h°) parameter, the Xgwm155 marker was found to be significant at the 0.01 level in distinguishing the genotypes. The R² values for both parameters were found to be approximately 11%. In other words, the applied model explained approximately 11% of the phenotypic variation observed in these color parameters (Table 5).

Table 6. P, R² values and regression coefficients of the markers for the color parameters in the Kayra × Cumhuriyet 75 F₂ population

Marker	L*	a*	b*	C*	h°
<i>Tamyb10-D1</i>	0.29642	0.7071	0.01259*	0.01077 *	0.2026
<i>Tamyb10-B1</i>	0.03068*	0.6254	0.50129	0.52964	0.5025
<i>Tamyb10-D1</i> × <i>Tamyb10-B1</i>	0.85638	0.4981	0.52395	0.59661	0.3483
R ²	0.033	-0.0254	0.0478	0.04901	-9.093e-05
Regression Coefficients					
<i>Tamyb10-D1</i>	1.86	-0.18	1.94	1.79	1.99
<i>Tamyb10-B1</i>	-2.14	-0.06	0.19	0.14	0.39
<i>Tamyb10-D1</i> × <i>Tamyb10-B1</i>	0.29	0.3	-0.83	-0.68	-1.41

Regression coefficients revealed that both markers, Tamyb10-B1 and Xgwm155, and their interaction exhibited variable effects on all color parameters in the Byrd × Tosunbey F₂ population. The most pronounced effects were observed for the L^* and h° parameters, where both markers individually increased the respective color values, while their interaction had a strong negative effect. Moderate positive effects of Xgwm155 were also observed for b^* and C^* parameters.

The p and R^2 values obtained for Kayra × Cumhuriyet 75 F₂ population are shown in Table 6. In the L^* parameter, the Tamyb10-B1 marker was found to be important in distinguishing the genotypes. Tamyb10-D1 was determined to be important in b^* and C^* color parameters. The model applied for these two parameters explained approximately 5% of the variation observed in these properties (Table 6).

The regression analysis revealed that the effects of the markers on color parameters varied by trait. For the Kayra × Cumhuriyet 75 F₂ population, the presence of the Tamyb10-D1 allele showed a positive effect on all color parameters except a^* , with the strongest increase observed for b^* , C^* and h° . Tamyb10-B1 had relatively small and inconsistent effects, while the interaction between the two markers generally showed minor or negligible contributions (Table 6).

Grain color in wheat is controlled by three independent genes. Phenotypic color values, especially in the individuals in the F₂ population which contains extensive genetic diversity, were obtained by separately evaluating the color parameters that constitute the color. Therefore, the relationships between allele-specific markers and the color parameters are not very high in the applied model. Wheat grains can be in various colors including white, light yellow, yellow red, amber and brown. For wheat grain color and similar products, a special scale created from the parameters in the color diagram will help to reveal the marker-color relationship more clearly in the segregation population. Similarly, a study reported that the most accurate and effective method for measuring the color of products with a visible-NIR device was to apply calculations using the standard application based on the CIE system (Black & Panozzo, 2004).

In wheat, grain color and hardness provide advantages for products to be obtained from grain in milling and in end-use quality. In addition, red grain wheat genotypes are generally more resistant to pre-harvest sprouting than white grain wheat genotypes (Himi et al., 2011). In wheat breeding programs, plants can be selected from segregation populations developed from parents with different color in order to select genotypes suitable for grain color. For effective selection at this stage, functional color markers and a special scale developed from color parameters can be beneficial in segregation populations.

CONCLUSION

Digital color images, colorimetry and spectrometry have been used for a long time to measure grain color, flour color or final product color in wheat (Neuman et al., 1989; Peterson et al., 2001; Şahin et al., 2006; Adams et al., 2013). To measure color objectively, colorimeters that measure $L^* a^* b^*$ values defined by the Commission Internationale de L'Eclairage (CIE) are mostly used (Black & Panozzo, 2004). In this study, wheat grain color was measured colorimetrically and grain color differences between the genotypes were clearly revealed. Functional markers developed from the genes controlling grain color and the SSR marker were screened in the parents with different grain colors and their F₂ populations. Different markers showed importance in terms of different color parameters measured in the F₂ populations. Grain color in wheat shows polygenic inheritance and the formation of grain color occurs as a result of the effects of many genes. Therefore, it is expected that the markers used will be associated with different color parameters. As a result of the study, it was determined that functional markers, especially those related to the genes controlling grain color in wheat, were useful in determining color alleles and could be easily used in determining color alleles in future wheat breeding programs.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was produced from the first author's master's thesis. We would like to thank Ege University

Scientific Research Projects Commission for financial support to carry out this study (Project No: 22649).

Compliance with Ethical Standards

Authors' Contributions

SÖ: Investigation, Methodology

Dİ: Data curation, Formal analysis, Interpretation

FAT: Conceptualization, Investigation, Supervision, Writing – review & editing

All authors read and approved the final manuscript.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

Ethical Approval

For this type of study, formal consent is not required.

Funding

Ege University Scientific Research Projects Commission financially supported this study with grant number: 22649.

Data Availability

The authors confirm that the data supporting the findings of this study are available within the article.

AI Disclosure

The authors confirm that no generative AI was used in writing this manuscript or creating images, tables, or graphics.

REFERENCES

Adams, K., Lukow, O. M., Suchy, J., DePauw, R., & Humphreys, G. (2013). Analysis of kernel colour, flour and whole wheat end-product quality of commercially grown Canada hard white spring wheat, snowbird. *Journal of Agricultural Science*, 5(1), 187-200. <https://doi.org/10.5539/jas.v5n1p187>

Aykut Tonk, F., İstipliler, D., Tosun, M., Turanlı, F., İlbi, H., & Çakir, M. (2016). Genetic mapping and inheritance of Russian wheat aphid resistance gene in accession, IG 100695. *Plant Breeding*, 135(1), 21-25. <https://doi.org/10.1111/pbr.12339>

Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1-48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>

Black, C. K., & Panozzo, J. F. (2004). Accurate technique for measuring color values of grain and grain products using a visible-NIR instrument. *Cereal Chemistry*, 81(4), 469-474. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2004.81.4.469>

Doyle, J. J., & Doyle, J. L. (1987). A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochemical Bulletin*, 19(1), 11-15.

Flintham, J. E. (2000). Different genetic components control coat-imposed and embryo-imposed dormancy in wheat. *Seed Science Research*, 10(1), 43-50. <https://doi.org/10.1017/S0960258500000052>

Guzman, C., Crossa, J., Mondal, S., Govindan, V., Huerta, J., Crespo-Herrera, L., Vargas, M., Singh, R. P., & Ibba, M. I. (2022). Effects of glutenins (Glu-1 and Glu-3) allelic variation on dough properties and bread-making quality of CIMMYT bread wheat breeding lines. *Field Crops Research*, 284, 108585. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108585>

Himi, E., Maekawa, M., Miura, H., & Noda, K. (2011). Development of PCR markers for *Tamyb10* related to R-1, red grain color gene in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 122(8), 1561-1576. <https://doi.org/10.1007/s00122-011-1555-2>

Himi, E., Mares, D. J., Yanagisawa, A., & Noda, K. (2002). Effect of grain colour gene (R) on grain dormancy and sensitivity of the embryo to abscisic acid (ABA) in wheat. *Journal of Experimental Botany*, 53(374), 1569-1574. <https://doi.org/10.1093/jxb/erf005>

Kaldy, M., Kereliuk, S., & Kozub, G. R. (1993). Influence of gluten components and flour lipids on soft white wheat quality. *Cereal Chemistry*, 70(1), 77-80.

Lachman, J., Martinek, P., Kotíková, Z., Orsák, M., & Šulc, M. (2017). Genetics and chemistry of pigments in wheat grain. A review. *Journal of Cereal Science*, 74, 145-154. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.02.007>

- Matus-Cadiz, M. A., Daskalchuk, T. E., Verma, B., Puttick, D., Chibbar, R. N., Gray, G. R., Perron, C. E., Tyler, R. T., & Hucl, P. (2008). Phenolic compounds contribute to dark bran pigmentation in hard white wheat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(5), 1644-1653. <https://doi.org/10.1021/jf072970c>
- McCallum, J. A., & Walker, J. R. L. (1990). Proanthocyanidins in wheat bran. *Cereal Chemistry*, 67(3), 282-285.
- McIntosh, R. A., Hart, G. E., Devos, K. M., Gale, M. D., & Rogers, W. J. (1998). Catalogue of gene symbols for wheat. *Proceedings of the Ninth International Wheat Genetics Symposium*, Vol.5, Saskatoon, Canada. pp. 1-229.
- Metzger, R. J., & Silbaugh, B. A. (1970). Location of genes for seed coat color in hexaploid wheat, *Triticum aestivum* L. *Crop Science*, 10(5), 495-496. <https://doi.org/10.2135/cropsci1970.0011183X001000050012x>
- Miyamoto, T., & Everson, E. H. (1958). Biochemical and physiological studies of wheat seed pigmentation. *Agronomy Journal*, 50, 733-734. <https://doi.org/10.2134/agronj1958.00021962005000120005x>
- Neuman, M. R., Sapirstein, H. D., Shwedyk, E., & Bushuk, W. (1989). Wheat grain colour analysis by digital image processing I. Methodology. *Journal of Cereal Science*, 10(3), 175-182. [https://doi.org/10.1016/S0733-5210\(89\)80046-3](https://doi.org/10.1016/S0733-5210(89)80046-3)
- Peterson, C. J., Shelton, D. R., Martin, T. J., Sears, R. G., Williams, E., & Graybosch, R. A. (2001). Grain color stability and classification of hard white wheat in the US. *Euphytica*, 119, 101-107. <https://doi.org/10.1023/A:1017515127628>
- R Core Team. (2021) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Rieseberg, L. H., Archer, M. A., & Wayne, R. K. (1999). Transgressive segregation, adaptation and speciation. *Heredity*, 83(4), 363-372. <https://doi.org/10.1038/sj.hdy.6886170>
- Şahin, M., Akçura, M., Akçacık, A. G., & Doğan, S. (2006). Evaluation of color parameters with measured spectrophotometer in durum wheat breeding. *Journal of Crop Research*, 2(1), 17-21.
- Şanal, T., Olgun, M., Erdoğan, S., Pehlivan, A., Yazar, S., Başçiftçi, Z., Kutlu, İ., & Ayter, G. (2012). Quality analysis of Turkey in bread wheat by interpolation technique I. Red bread wheat. *Biological Diversity and Conservation*, 53, 69-75.
- Sherman, J. D., Souza, E., See, D., & Talbert, L. E. (2008). Microsatellite markers for kernel color genes in wheat. *Crop Science*, 48(4), 1419-1424. <https://doi.org/10.2135/cropsci2007.10.0561>
- Slaughter, D. C., Norris, K. H., & Hruschka, W. R. (1992). Quality and classification of hard red wheat. *Cereal Chemistry*, 69(4), 428-432.
- Ünal, S. (2003). Buğday ve un kalitesinin belirlenmesinde uygulanan yöntemler. Nevşehir ekonomisinin sorunları ve çözüm önerileri: Un sanayi örneği. *Nevşehir Ekonomi Sempozyumu*, Nevşehir, Türkiye, pp. 15-33.
- Warner, R. L., Kudrna, D. A., Spaeth, S. C., & Jones, S. S. (2000). Dormancy in white-grain mutants of Chinese Spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Seed Science Research*, 10, 51-60. <https://doi.org/10.1017/S0960258500000064>



COVID-19 Impact on Public Health in Bangladesh: A Comprehensive Analysis of Morbidity, Mortality and Future Scenarios

Mostafa Essam Ahmed Eissa¹ 

¹ Independent Researcher, Pharmaceutical and Healthcare Research Facility, Cairo, Egypt; mostafaessameissa@yahoo.com

✉ Corresponding Author: mostafaessameissa@yahoo.com

Please cite this paper as follows:

Eissa, M. E. A. (2025). COVID-19 Impact on Public Health in Bangladesh: A Comprehensive Analysis of Morbidity, Mortality and Future Scenarios. *Acta Natura et Scientia*, 6(1), 55-65. <https://doi.org/10.61326/actanatsci.v6i1.292>

ARTICLE INFO

Article History

Received: 07.10.2024

Revised: 22.05.2025

Accepted: 28.05.2025

Available online: 24.06.2025

Keywords:

Bangladesh

COVID-19 pandemic

Global health

Morbidity

Mortality

A B S T R A C T

To analyze the temporal trends and patterns of COVID-19 cases and deaths in Bangladesh, to identify potential seasonal variations in COVID-19 morbidity and mortality, to visualize the relationship between new cases, new deaths, and time, to prioritize factors or periods based on case and death frequencies and to apply statistical process control charts to monitor the stability and identify significant variations in daily case and death rates. COVID-19, caused by a novel coronavirus, has become a global public health emergency since its emergence in late 2019. Bangladesh, a densely populated and low-resource country, faced many challenges in responding to the pandemic. This study aimed to evaluate the impact of COVID-19 on public health in Bangladesh by analyzing the trends and patterns of morbidity, mortality, and future scenarios which mean the implications of the historical analysis for the potential direction the pandemic might take, while acknowledging the variables and the plan for a dedicated future projection study. The analysis used data from the WHO COVID-19 dashboard, covering 1st January, 2020 to 1st January, 2023. Minitab 17.1.0 was used for analysis and visualization. The data was cleaned and transformed to create new variables like season and case fatality rate. A surface plot was used to show the relationship between new cases, new deaths, and date reported. Trending charts with upper and lower control limits were also created. Results showed an initial surge in cases and deaths peaking in mid-2021, followed by declining death rates. Seasonal variations were observed, with summer and winter having higher cases (summer: 50.3% of total cases; winter: 22.1%) and deaths (summer: 59.1%; spring: 16.8%) compared to spring and autumn. Pareto analysis of cases showed that July 2021 accounted alone for about 16.5% of the total incidents. The study highlights seasonal trends and the critical role of vaccination and healthcare capacity. Public health authorities should prioritize pre-peak-season interventions, enhance real-time monitoring using statistical tools and address systemic vulnerabilities to mitigate future outbreaks.

INTRODUCTION

The coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic, caused by the novel severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2), has posed unprecedented challenges to the global health and socio-economic systems. Since its first detection in China in December 2019, the virus has rapidly spread to more than 200 countries and territories, infecting over 300 million people and killing over 6 million as of January 2024 (World Health Organization (WHO), 2024). The pandemic has also disrupted the normal functioning of societies, affecting various aspects such as education, employment, trade, travel, and human rights (Hosseinzadeh et al., 2022).

Bangladesh, a densely populated and low-resource country in South Asia, has been severely affected by the COVID-19 pandemic. The first confirmed case of COVID-19 in Bangladesh was reported on March 8, 2020. Since then, the country has witnessed several waves of infections and deaths, with varying intensity and duration (Saha & Gulshan, 2021). As of January, 2023, Bangladesh has reported 2,046,165 confirmed cases and 29,477 deaths due to COVID-19 (Anonymous, 2023a, 2023b; Lytton & Ghosh, 2024). The country has also administered 361,674,660 doses of COVID-19 vaccines, fully vaccinating 142,193,280 people or 85.6% of its population (UNICEF, 2022).

The COVID-19 situation in Bangladesh is influenced by multiple factors, such as the virus characteristics, the public health interventions, the health system capacity, the socio-economic conditions, and the environmental factors (Hosseinzadeh et al., 2022). Understanding these factors and their interactions is crucial for developing effective strategies to prevent, control, and mitigate the impact of the pandemic. However, there is a challenge to achieve a comprehensive and up-to-date data and analysis on the COVID-19 situation in Bangladesh, which hinders evidence-based decision-making and policy formulation (Anwar et al., 2020; Ferdous et al., 2020; Hasan et al., 2021; Siddika & Islam, 2022).

This work aimed to provide a unique analysis and comprehensive insight interpretation and extrapolation of the future perspective from the graph of COVID-19 in Bangladesh. The graph is a surface plot showing the relationship between new COVID-19 cases and deaths in Bangladesh over three years, from January 2020 to January 2023. This graph was used as a basis to explore the trends and patterns, the possible factors, and the future scenarios of the COVID-19 situation in Bangladesh. Web search results were also used to supplement the analysis with additional information and references. The analysis was intended to contribute to the understanding of the COVID-19 situation in Bangladesh and provide some implications and recommendations for the policymakers and the public. This study aims to analyze temporal trends, seasonal variations, and key determinants of COVID-19 morbidity and mortality in Bangladesh between 2020 and 2023 to inform targeted interventions.

MATERIAL AND METHODS

The data used for this analysis was obtained from the World Health Organization (WHO) COVID-19 dashboard, which provides daily updates on the confirmed cases and deaths due to COVID-19 in Bangladesh and other countries (WHO, 2023a). The data covered the period from 1st January, 2020 to 1st January, 2023 and included the following variables: reporting date, new cases, cumulative cases, new deaths, and cumulative deaths.

The data was downloaded as a comma-separated values (CSV) file and imported into Minitab version 17.1.0, a commercially available Statistical Process Control (SPC) software package for analytical computing and graphics developed by Minitab LLC, State College, Pennsylvania, USA. The data was cleaned to remove any missing or erroneous values and transformed to create new variables, such as season, case fatality rate, and moving average (Alotaibi et al., 2022). Missing or erroneous data (<0.1% of entries) were excluded. Seasons were assigned as Winter (December–February), Spring (March–May), Summer (June–August), and Autumn (September–November).

The season variable was created by assigning each date to one of the four seasons: Winter (December to February), spring (March to May), summer (June to August), and autumn (September to November) (Borges do Nascimento et al., 2020). The data was examined using a surface plot, which is a type of plot that shows the relationship between three variables using surfaces.

The data was also analysed using exploratory process-behaviour charts, which are a type of control chart that can help to assess the stability and variation of a process over time (Anonymous, 2024). The charts showed the upper control limits of the new cases and new deaths, which indicate the range of expected variation for the process. Any data point that falls outside the control limits suggests a possible change in the process behaviour.

Statistical Analysis

The statistical analysis of the COVID-19 data from Bangladesh involved the following steps and methods (Gürsakal et al., 2020):

3D Surface Plot

A 3D surface plot was created using the variables date, new cases and new deaths. This showed the relationship between new cases, date and new deaths over time. The plot revealed that new cases were highest during the summer season (June to August) of 2020 and 2021. Cases started to decline from late 2021 onwards. The surface plot provided a visual understanding of how cases fluctuated with death through the time period of the 3 years.

Pareto Diagram

A Pareto diagram was created to identify the frequency of cases and deaths. The Pareto diagram is a type of bar chart that shows the frequency of different categories in descending order, along with a cumulative percentage line. The Pareto diagram was created using the data from the WHO COVID-19 dashboard.

Median Control Charts

Median control charts were created to monitor the central tendency of new cases and new deaths over

time. The median is a measure of location that is less sensitive to outliers than the mean. The median control charts were created using the variables new cases and new deaths, along with the time order. The median control charts showed the upper control limits of the new cases and new deaths, which indicate the range of expected variation for the process. Any data point that falls outside the control limits suggests a possible change in the process behaviour. The control limits were calculated using the average moving range method, which uses the average of the differences between consecutive observations as a measure of variability. The control charts were created for both recorded daily cases and deaths, to compare the seasonal effects on the process. Ethical approval was not required for this study as it utilized anonymized, publicly available data from the WHO COVID-19 dashboard.

RESULTS

The analysis identified the distribution of new COVID-19 cases in Bangladesh over specific months and years using Pareto method. In this case, the Pareto technique shows the new cases of COVID-19 reported in Bangladesh during different time periods, as well as the cumulative percentage of total cases up to that point. The study reveals that July 2021 had the highest number of new cases, accounting for 16.5% of the total cases, followed by August 2021 with 12.3%, and January 2022 with 10.5%. The screening indicates that the new cases of COVID-19 in Bangladesh varied significantly over time, with some months and years having more cases than others.

Figure 1 shows a 3D surface plot of the new deaths versus new cases of COVID-19 reported in Bangladesh over time. The x-axis indicates the reporting date, while the y-axis shows the number of new cases and the z-axis shows the number of new deaths. The color gradient represents the increase in values, ranging from green (low) to blue (high). The figure shows that the new deaths were lower when the new cases were fewer on earlier dates, while the new deaths increased as the new cases rose over time. The figure also shows some peaks indicating spikes in new deaths corresponding with increases in new cases.

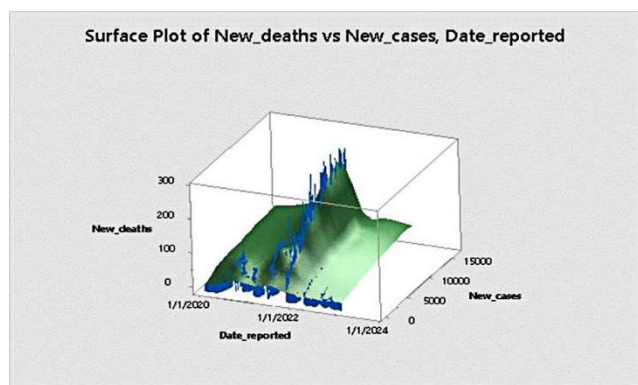


Figure 1. Temporal trends in new cases and deaths of COVID-19 in Bangladesh from January 2020 to January 2023

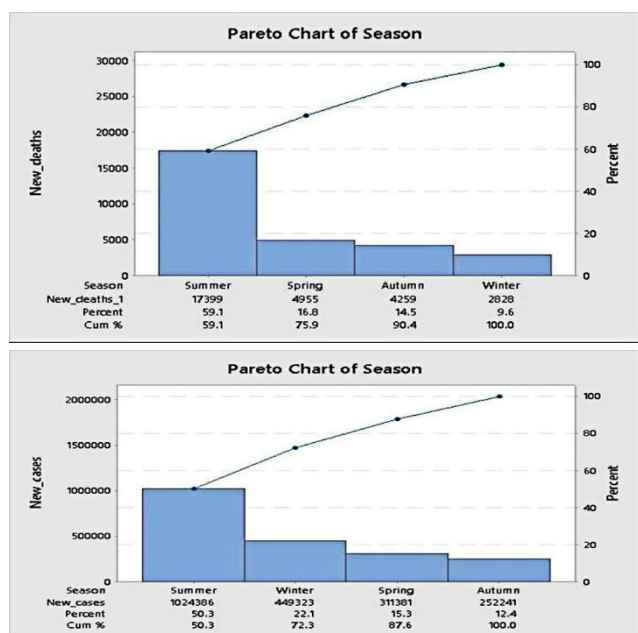


Figure 2. Seasonal variation in new cases and deaths of COVID-19 in Bangladesh from January 2020 to January 2023

Figure 2 shows a Pareto chart of the new cases of COVID-19 reported in Bangladesh by season. The x-axis indicates the season, while the y-axis on the left shows the number of new cases and the y-axis on the right shows the cumulative percentage of new cases. The bars represent the new cases in each season, while the line graph shows the cumulative percentage of new cases for each season. The figure shows that summer accounted for more than half of the total new

cases, followed by winter, spring, and autumn, respectively. Summer recorded the highest cases (50.3%) and deaths (59.1%), followed by winter (22.1% cases; 9.6% deaths). Spring and autumn accounted for 16.8% and 14.5% of deaths, respectively. In terms of cases, they showed 15.3% and 12.4%, respectively. The table below the chart summarizes the new cases and percentages for each season.

Figure 2 shows a Pareto chart of the new deaths from COVID-19 reported in Bangladesh by season. The x-axis indicates the season, while the y-axis on the left shows the number of new deaths and the y-axis on the right shows the cumulative percentage of new deaths. The bars represent the new deaths in each season, while the line graph shows the cumulative percentage of new deaths for each season. The figure shows that summer accounted for more than half of the total new deaths, followed by spring, autumn, and winter, respectively.

Figures 3 and 4 shows a trending chart of the new cases and deaths per day of COVID-19 reported in Bangladesh over time. The y-axis indicates the number of cases per day, while the x-axis shows the date and season. The horizontal lines represent the upper control limit (UCL), the mean (X-bar), and the lower control limit (LCL) (Eissa, 2022; Essam Eissa, 2023; Eissa & Rashed, 2023). The data points are marked by black crosses connected by a line. The figure shows that the new cases fluctuated around the mean.

According to the WHO COVID-19 dashboard, as of 4 January 2024, Bangladesh has reported 2,046,165 confirmed cases and 29,477 deaths due to COVID-19. The country has also administered 361,674,660 doses of COVID-19 vaccines, fully vaccinating 142,193,280 people or 85.6% of its population (WHO, 2024). However, the country is still facing challenges such as the emergence of new variants, the waning of vaccine immunity, and the relaxation of preventive behaviors (Anonymous, 2024). Therefore, it is important to continue to follow the public health guidelines and to monitor the situation closely.

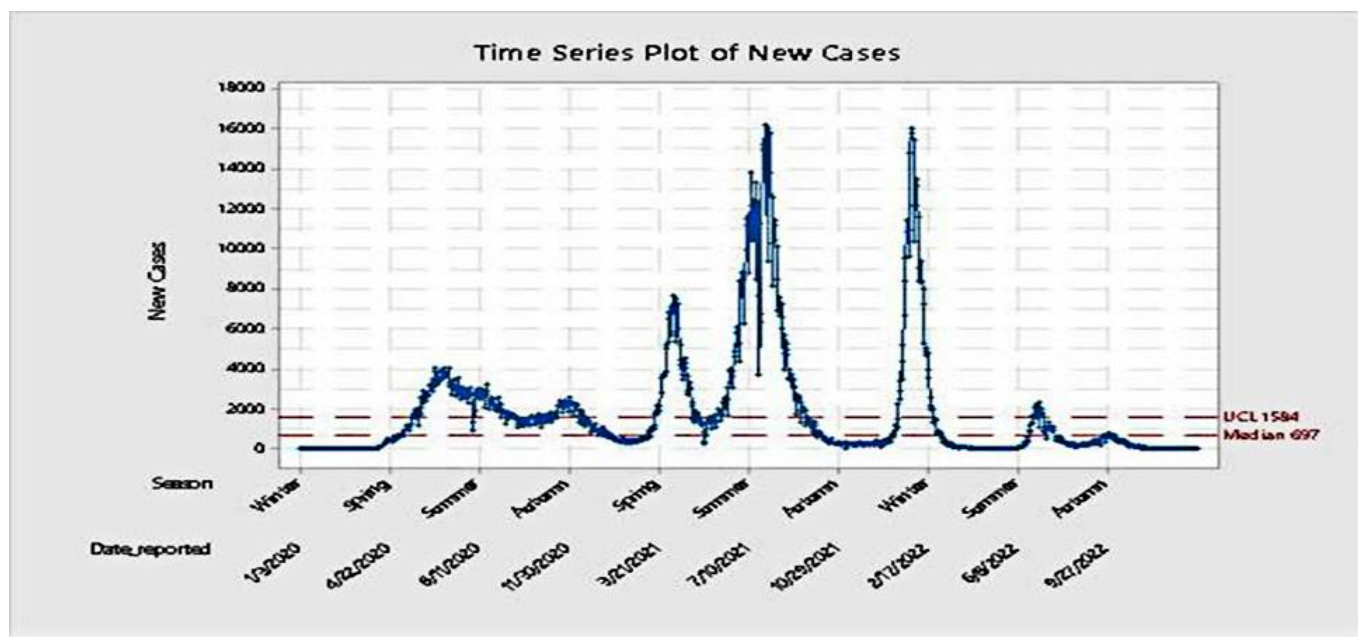


Figure 3. Seasonal trends in new cases of COVID-19 in Bangladesh from January 2020 to January 2023

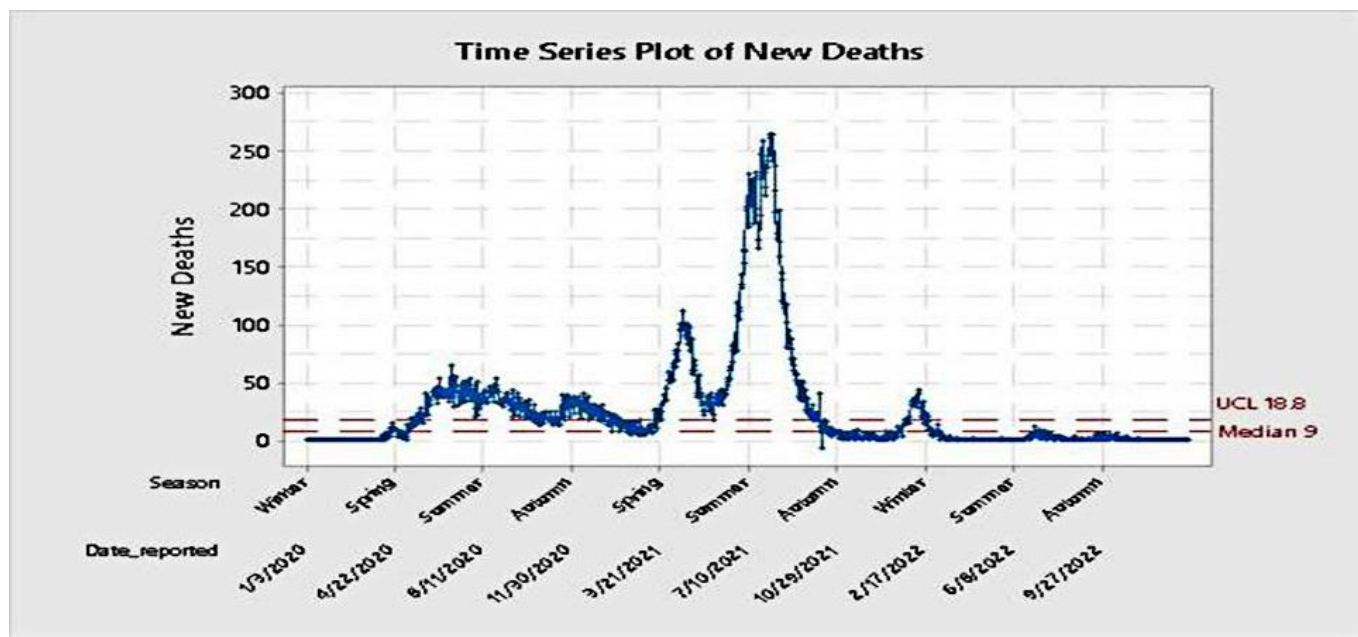


Figure 4. Seasonal trends in mortality rates of COVID-19 in Bangladesh from January 2020 to January 2023

DISCUSSION

The results of 3D visualization show a clear seasonal pattern of new COVID-19 cases in Bangladesh, with spikes during the summer and winter seasons. This suggests that the virus transmission is influenced by environmental factors such as temperature, humidity, and sunlight, as well as human behavior such as indoor activities and travel patterns (Saha & Gulshan, 2021; Kočańczyk & Lipniacki, 2021; Cegolon et al., 2023; WHO, 2023b).

The results also show a remarkable peak and decline in both new cases and deaths in the summer of 2021, reaching almost 300 deaths per day at its highest point and dropping below 50 deaths per day by the end of the season (Anonymous, 2021). This could be attributed to several factors, such as the emergence of a new variant, the relaxation or tightening of public health measures, the increase or decrease of testing and reporting, or the effect of vaccination campaigns. The results also show a significant spike in both new cases and deaths around early 2022, coinciding with

the emergence of the highly contagious Delta variant in neighboring India and its spread to Bangladesh (WHO, 2023b). This highlights the need for timely and effective response to the emergence and spread of new variants, and the importance of regional and global cooperation and coordination to contain the virus.

The results also show a decline in both new cases and deaths in late 2022 and early 2023, indicating a reduction in transmission and mortality. This demonstrates the impact and benefits of implementing strict lockdown measures, ramping up testing and tracing, improving healthcare facilities, and rolling out vaccination campaigns, and the necessity of sustaining and scaling up these efforts (Saha & Gulshan, 2021; WHO, 2023b). To predict the future trends of the pandemic, it is essential to consider various factors, such as the vaccination rates, the public health measures, the virus variants, and the socio-economic impacts (Saha & Gulshan, 2021). According to the WHO, as of 4 January 2024, Bangladesh has fully vaccinated 142.2 million people, or 86.4% of its population (Anonymous, 2021). This is a remarkable achievement that could help prevent severe cases and deaths (Anonymous, 2024). However, there are still challenges and uncertainties, such as the emergence of new variants, the waning of vaccine immunity, the relaxation of preventive behaviors, and the inequity of vaccine access. Therefore, it is crucial to maintain vigilance and preparedness, and to adopt a holistic and adaptive approach to end the pandemic.

The Pareto results show a clear seasonal variation in the number of new COVID-19 cases in Bangladesh, with summer and winter having the highest peaks and autumn having the lowest trough. This suggests that the virus transmission is influenced by environmental factors such as temperature, humidity, and sunlight, as well as human behavior such as indoor activities and travel patterns (Saha & Gulshan, 2021). This is consistent with previous studies that have reported seasonal patterns of COVID-19 in different regions of the world (Anwar et al., 2020). The results also show that summer had the most severe outbreak of COVID-19 in Bangladesh, with over one million new cases accounting for more than half of the total cases. This could be due to several reasons, such

as the relaxation of lockdown measures, the emergence of new variants, the low vaccination coverage, and the lack of public awareness – which is a major problem in many countries around the globe – and compliance with preventive measures. This highlights the need for timely and effective interventions to control the spread of the virus and protect the population, especially during the high-risk seasons. The results also show that winter had the second-highest peak of COVID-19 in Bangladesh, with nearly 450,000 new cases contributing to 22.1% of the total cases. This could be due to the increased susceptibility of people to respiratory infections in cold and dry weather, the reduced effectiveness of the immune system, the increased indoor gatherings and social events, and the reduced ventilation and air quality (Tuli et al., 2020; Hossain et al., 2021; Anonymous, 2024; WHO, 2024). This indicates the importance of strengthening the health system and enhancing the testing and tracing capacity, as well as promoting preventive behaviors and measures among the public, especially during the winter season.

The graph shows that there is a clear seasonal variation in the number of new COVID-19 deaths in Bangladesh, with summer and spring having the highest peaks and winter having the lowest trough. This suggests that the virus fatality is influenced by environmental factors such as temperature, humidity, and sunlight, as well as human behavior such as indoor activities and travel patterns. This is consistent with the previous discussion on new cases, which also showed a seasonal pattern.

The graph shows that summer had the most severe impact of COVID-19 in Bangladesh, with over 17,000 new deaths accounting for 59.1% of the total deaths. This aligns with the previous discussion on new cases, which also showed that summer had the most severe outbreak of COVID-19 in Bangladesh. The summer 2021 peak aligns with the Delta variant's emergence and relaxed mobility measures (Anonymous, 2021; Saha & Gulshan, 2021; WHO, 2023b). Seasonal trends mirror studies from India and Brazil, where heat and humidity influenced transmission (Tuli et al., 2020; Saha & Gulshan, 2021; Hossain et al., 2021; Anonymous, 2021, 2024; Essam Eissa, 2023; Eissa & Rashed, 2023; WHO, 2023b, 2024).

The graph shows that spring had the second-highest peak of COVID-19 in Bangladesh, with nearly 5,000 new deaths contributing to 16.8% of the total deaths. This is different from the previous discussion on new cases, which showed that winter had the second-highest peak of COVID-19 in Bangladesh. This could be due to the delayed effect of the virus on the mortality rate, as well as the increased strain on the health system and the limited availability of medical resources and treatments.

The graph shows that autumn had a decline in the number of new COVID-19 deaths in Bangladesh, with around 4,000 new deaths contributing to 14.5% of the total deaths (Tuli et al., 2020; Hossain et al., 2021; Anonymous, 2024; WHO, 2024). This is similar to the previous discussion on new cases, which also showed that autumn had a decline in the number of new COVID-19 cases in Bangladesh. This could be due to the improved public health measures or the environmental conditions that might have started showing positive effects. While cases peaked in summer and winter, deaths were highest in summer and spring, likely due to delayed mortality reporting and healthcare strain during overlapping waves

The graph shows that winter had the lowest impact of COVID-19 in Bangladesh, with around 2,800 new deaths contributing to 9.6% of the total deaths. This is different from the previous discussion on new cases, which showed that winter had a resurgence of COVID-19 in Bangladesh. This could be due to the improved public health measures or the adaptation to the environmental conditions that might have been conducive to virus transmission. Integrating the data on new deaths with the previous discussion on new cases provides comprehensive insights into both the infection rate and the fatality rate of COVID-19 across different seasons in Bangladesh. The graph shows that summer and spring were the most critical periods for COVID-19 in Bangladesh, while autumn and winter were relatively less affected (Tuli et al., 2020; Hossain et al., 2021; Anonymous, 2024; WHO, 2024). Therefore, it is important to continue to implement and enforce effective public health measures, such as wearing masks, social distancing, testing, tracing, and isolating, as well as to accelerate the vaccination

campaign and monitor the emergence and spread of new variants.

Based on the graph, it is possible to project the future trend of COVID-19 in Bangladesh, assuming that the current situation and interventions remain unchanged. The graph indicates that spring and autumn have lower numbers of new cases than summer and winter, but still higher than the global average (WHO, 2024). The order seems different for daily recorded deaths. Therefore, it is important to stress again to continue to implement and enforce effective public health measures, such as wearing masks, social distancing, testing, tracing, and isolating, as well as to accelerate the vaccination campaign and monitor the emergence and spread of new variants.

The graph shows a clear seasonal pattern of new COVID-19 cases in Bangladesh, with spikes during the winter and summer seasons (Saha & Gulshan, 2020). This suggests that the virus may be more transmissible or virulent in colder or hotter weather, or that people's behavior and mobility may change with the seasons, affecting the spread of the virus (Tuli et al., 2020; Hossain et al., 2021; Anonymous, 2024; WHO, 2024). This is consistent with previous studies that have reported seasonal patterns of COVID-19 in different regions of the world.

The graph also shows the upper control limit (UCL) of the number of cases, which are calculated based on the average and standard deviation of the data. There is no lower control limit (LCL) as this type of data is one-sided inspection characteristic.

These limits indicate the range of variation that is expected or normal for the process. Any data point that falls outside the control limits is considered an outlier or a signal of a special cause of variation, such as a change in policy, testing, or intervention (Eissa et al., 2016; Essam Eissa & Refaat Rashed, 2020). This can help to identify and address the factors that affect the process performance and quality.

To extrapolate the future perspective of the COVID-19 situation in Bangladesh, one might anticipate similar patterns of case increases during the winter and summer seasons, unless significant interventions or changes occur, such as widespread

vaccination, implementation of stricter health protocols, or emergence of new variants (Eissa, 2024). The control limits can also be used to monitor the process and detect any abnormal or unexpected changes in the number of cases. This can help to evaluate the effectiveness of the interventions and adjust the response accordingly.

Figure 4 show that the mortality rate of COVID-19 in Bangladesh has varied over time, with a peak and decline in the summer of 2021 and a seasonal trend across the years. This section will discuss the possible explanations and implications of these findings, as well as the limitations and recommendations for future research.

The remarkable peak and decline in the summer of 2021 could be attributed to several factors, such as the emergence of a new variant, the relaxation or tightening of public health measures, the increase or decrease of testing and reporting, or the effect of vaccination campaigns. However, the exact causes and contributions of these factors are difficult to determine, as they may interact and vary across regions and populations (Tuli et al., 2020). Further studies are needed to investigate the epidemiological and behavioral dynamics of this period and to evaluate the impact and effectiveness of the interventions implemented.

The seasonal pattern observed in the graph suggests that the virus may be more transmissible or virulent in hot and humid conditions, or that people may have lower immunity or more exposure to the virus during the summer. This is consistent with some previous studies that have found a correlation between temperature, humidity, and COVID-19 transmission (Saha & Gulshan, 2020). However, other studies have challenged this hypothesis, arguing that other factors, such as population density, mobility, social mixing, and indoor ventilation, may play a more important role in determining the seasonality of the virus (Anwar et al., 2020). Moreover, the seasonal variation may also reflect the variation in testing and reporting, as well as the lag between infection and death (Johnsen et al., 2022). Therefore, more research is needed to understand the environmental and social factors that influence the seasonality of COVID-19 and

to develop appropriate strategies to prevent and control the spread of the virus in different seasons.

Based on the graph, one might expect the death rates to remain low or stable in the upcoming winter season, and possibly rise again in the next summer season (Hossain et al., 2021). However, this projection is subject to many uncertainties and assumptions, and should not be taken as a definitive forecast (Tuli et al., 2020). The future course of the pandemic will depend on many factors, such as the evolution of the virus, the availability and effectiveness of vaccines and treatments, the adherence and enforcement of public health guidelines, and the behavior and awareness of the population. Therefore, it is important to monitor the situation closely and adjust the response accordingly.

One of the main limitations of this study is that it relies on the official data reported by the government and the WHO, which may not reflect the true extent and severity of the pandemic in Bangladesh. There may be underreporting or misreporting of cases and deaths due to various reasons, such as lack of testing, stigma, or political pressure (Siddika & Islam, 2022). Moreover, the data may not capture the differences and disparities among different regions, groups, and settings within the country (Hasan et al., 2021). Therefore, the results of this study should be interpreted with caution and validated by other sources of data, such as serological surveys, mortality registries, or hospital records (WHO, 2023a).

Another aspect that should be considered as a future extension of this study is that other factors should be considered, such as the hospitalization rate, the recovery rate, the excess mortality, and the quality of life (Alotaibi et al., 2022). Unfortunately, comprehensive and holistic data of these kinds are not always available. Moreover, the pandemic has also caused significant social, economic, and psychological consequences, such as poverty, unemployment, inequality, violence, and mental health problems, which may affect the health and well-being of the population in the long term (Borges do Nascimento et al., 2020). Therefore, future studies should adopt a more comprehensive and holistic approach to

measure and evaluate the impact of COVID-19 in Bangladesh and other countries.

CONCLUSION

In conclusion, this study has shown that the morbidity and mortality rates of COVID-19 in Bangladesh has varied over time, with a peak and decline in the summer of 2021 and a seasonal trend across the years. The possible explanations and implications of these findings have been discussed, as well as the limitations and recommendations for future research using special and unique statistical techniques. The study highlights the need for continuous monitoring and evaluation of the situation, as well as the development and implementation of effective and equitable strategies to prevent and control the spread of the virus and to mitigate its adverse effects. Assessing the future projection will be covered in extended study by monitoring periods after January 2023 and analyzing morbidities and mortalities till January 2026. A comparative examination will be conducted to evaluate the kinetics of the outbreak.

Critical periods for COVID-19 intervention and prevention in Bangladesh were identified and prioritized using the Pareto method. The relationship between new cases, new deaths, and reporting date was visualized using a surface plot, and the patterns and trends of the COVID-19 situation in Bangladesh were revealed. A timely and effective response to new variants was needed, and regional and global cooperation and coordination were required to contain the virus. Lockdown measures, testing and tracing, healthcare facilities, and vaccination campaigns were sustained and scaled up to reduce transmission and mortality. Vigilance and preparedness were maintained, and a holistic and adaptive approach was adopted to end the pandemic. Moreover, the Pareto chart of new COVID-19 deaths in Bangladesh by season reveals a clear seasonal variation, with summer and spring being the most fatal and winter being the least. This is partly consistent with the chart of new cases, which also showed a seasonal pattern, except for winter. The reasons for the seasonal variation could be related to environmental and behavioral factors, as well as the

virus characteristics and the health system capacity. The findings suggest that preventive measures and vaccination programs should be tailored to the seasonal trends and the local context to effectively control the pandemic. The process-behavior charts of new COVID-19 cases and deaths in Bangladesh confirmed the seasonal pattern with aberrant waves emerging above the UCL suggesting out-of-control episodes of the outbreak. To effectively manage future public health crises, it's recommended that pre-emptive vaccination drives be conducted before anticipated summer and winter peaks in disease transmission. Furthermore, resource allocation to hospitals should be strategically increased during these high-risk seasons to ensure adequate capacity. Finally, public awareness campaigns are crucial to target and mitigate behavioral risks, such as increased indoor gatherings during winter, that can contribute to viral spread.

Compliance with Ethical Standards

Conflict of Interest

The author declares that there is no conflict of interest.

Ethical Approval

For this type of study, formal consent is not required.

Funding

Not applicable.

Data Availability

The data that support the findings of this study are available from the corresponding author on request.

AI Disclosure

The author confirms that no generative AI was used in writing this manuscript or creating images, tables, or graphics.

REFERENCES

- Alotaibi, N., Al-Dayel, I., Elbatal, I., Ezzeldin, M. R., Elgarhy, M., & Al-karawi, K. A. (2022). Statistical analysis of the COVID-19 epidemic in Saudi Arabia. *Advances and Applications in Statistics*, 74, 107-118. <https://doi.org/10.17654/0972361722020>
- Anonymous. (2023a). *John Hopkins Coronavirus Resource Center*. Retrieved on March 10, 2023, from <https://coronavirus.jhu.edu/data>
- Anonymous. (2023b). *Bangladesh Directorate General of Health Services, Ministry of Health and Family Welfare Coronavirus COVID-19 Dashboard*. Retrieved on June 1, 2023, from <http://103.247.238.92/webportal/pages/covid19.php>
- Anonymous. (2021). *Covid-19: Crowds flee Dhaka ahead of strict Bangladesh lockdown*. BBC News. Retrieved on January 1, 2023, from <https://www.bbc.com/news/world-asia-57624557>
- Anonymous. (2024). *COVID-19 vaccination in Bangladesh*. Retrieved on October 1, 2024, from <https://dashboard.dghs.gov.bd/pages/covid19-vaccination-update.php>
- Anwar, S., Nasrullah, M., & Hosen, M. J. (2020). COVID-19 and Bangladesh: Challenges and how to address them. *Frontiers in Public Health*, 8, 154. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00154>
- Borges do Nascimento, I. J., Cacic, N., Abdulazeem, H. M., von Groote, T. C., Jayarajah, U., Weerasekara, I., Esfahani, M. A., Civile, V. T., Marusic, A., Jeronic, A., Carvas Junior, N., Pericic, T. P., Zakarija-Grkovic, I., Meirelles Guimarães, S. M., Luigi Bragazzi, N., Bjorklund, M., Sofi-Mahmudi, A., Altujjar, M., Tian, M., Arcani, D. M. C., ... Marcolino, M. S. (2020). Novel coronavirus infection (COVID-19) in humans: A scoping review and meta-analysis. *Journal of Clinical Medicine*, 9(4), 941. <https://doi.org/10.3390/jcm9040941>
- Cegolon, L., Magnano, G., Negro, C., Larese Filon, F., & ORCHESTRA Working Group (2023). SARS-CoV-2 Reinfections in Health-Care Workers, 1 March 2020-31 January 2023. *Viruses*, 15(7), 1551. <https://doi.org/10.3390/v15071551>
- Eissa M. (2024). Bioburden analysis and microbiological stability of municipal distribution system through examination of transformed total microbial count dataset. *Frontiers in Scientific Research and Technology*, 8, 57-70. <https://doi.org/10.21608/frst.2023.251967.1115>
- Eissa, M. (2022). Modeling of COVID-19 major outbreak wave through statistical software: Quantitative risk evaluation and description analysis. *ESTUDAM Public Health Journal*, 7(1), 145-161. <https://doi.org/10.35232/estudamhds.1024129>
- Eissa, M. E., & Rashed, E. R. (2023). Analysis and modeling of morbidity and mortality from coronavirus outbreak in Brazil: A case study of public health challenge using unique statistical tools. *Journal of Health Science Research*, 8, 57-61. https://doi.org/10.25259/JHSR_3_2023
- Eissa, M. E., Mahmoud, A. M., & Nouby, A. S. (2016). Control chart in microbiological cleaning efficacy of pharmaceutical facility. *Dhaka University Journal of Pharmaceutical Sciences*, 14(2), 133-138.
- Essam Eissa, M., & Refaat Rashed, E. (2020). Unique descriptive analysis approach of Ebola Outbreak from WHO database using statistical process control. *Singapore Journal of Scientific Research*, 10(3), 336-341.
- Essam Eissa, M. (2023). Studies on morbidities and mortalities from COVID-19: Novel public health practice during pandemic periods. *Asian Journal of Applied Sciences*, 16, 84-94. <https://doi.org/10.3923/ajaps.2023.84.94>
- Ferdous, M. Z., Islam, M. S., Sikder, M. T., Mosaddek, A. S. M., Zegarra-Valdivia, J. A., & Gozal, D. (2020). Knowledge, attitude, and practice regarding COVID-19 outbreak in Bangladesh: An online-based cross-sectional study. *PLoS One*, 15(10), e0239254. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239254>
- Gürsakil, N., Batmaz, B., & Aktuna, G. (2020). Drawing transmission graphs for COVID-19 in the perspective of network science. *Epidemiology and Infection*, 148, e269. <https://doi.org/10.1017/S0950268820002654>
- Hasan, S. M., Das, S., Hanifi, S. M. A., Shafique, S., Rasheed, S., & Reidpath, D. D. (2021). A place-

- based analysis of COVID-19 risk factors in Bangladesh urban slums: A secondary analysis of World Bank microdata. *BMC Public Health*, 21, 502. <https://doi.org/10.1186/s12889-021-10230-z>
- Hossain, M. B., Alam, M. Z., Islam, M. S., Sultan, S., Faysal, M. M., Rima, S., Hossain, M. A., & Mamun, A. A. (2021). COVID-19 vaccine hesitancy among the adult population in Bangladesh: A nationwide cross-sectional survey. *PLoS One*, 16(12), e0260821. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260821>
- Hosseinzadeh, P., Zareipour, M., Baljani, E., & Moradali, M. R. (2022). Social consequences of the COVID-19 pandemic. A systematic review. *Investigacion y Educacion en Enfermeria*, 40(1), e10. <https://doi.org/10.17533/udea.iee.v40n1e10>
- Johnsen, M. G., Christiansen, L. E., & Græsbøll, K. (2022). Seasonal variation in the transmission rate of covid-19 in a temperate climate can be implemented in epidemic population models by using daily average temperature as a proxy for seasonal changes in transmission rate. *Microbial Risk Analysis*, 22, 100235. <https://doi.org/10.1016/j.mran.2022.100235>
- Kochańczyk, M., & Lipniacki, T. (2021). Pareto-based evaluation of national responses to COVID-19 pandemic shows that saving lives and protecting economy are non-trade-off objectives. *Scientific Reports*, 11(1), 2425. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81869-2>
- Lytton, S. D., & Ghosh, A. K. (2024). SARS-CoV-2 variants and COVID-19 in Bangladesh—Lessons learned. *Viruses*, 16(7), 1077. <https://doi.org/10.3390/v16071077>
- Saha, P., & Gulshan, J. (2021). Systematic assessment of COVID-19 pandemic in Bangladesh: Effectiveness of preparedness in the first wave. *Frontiers in Public Health*, 9, 628931. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.628931>
- Siddika, A., & Islam, D. (2022). Covid-19 and Bangladesh: A study of the public perception on the measures taken by the government. *The Dhaka University Studies Journal of The Faculty of Arts*, 79(1-2), 113-128. <https://doi.org/10.62296/DUS202212008>
- Tuli, S., Tuli, S., Tuli, R., & Gill, S. S. (2020). Predicting the growth and trend of COVID-19 pandemic using machine learning and cloud computing. *Internet of Things*, 11, 100222. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100222>
- UNICEF. (2022). *UNICEF: 190 million COVID-19 vaccines delivered under COVAX*. Retrieved on October 1, 2024, from <https://www.unicef.org/rosa/press-releases/unicef-190-million-covid-19-vaccines-delivered-under-covax>
- World Health Organization (WHO). (2023a). *WHO COVID-19 dashboard*. Retrieved on January 1, 2023, from <https://data.who.int/dashboards/covid19/>
- World Health Organization (WHO). (2023b). *COVID-19 dashboard, COVID-19 Cases, World*. Retrieved on January 1, 2023, from <https://data.who.int/dashboards/covid19/cases>
- World Health Organization (WHO). (2024). *07 December 2020 Morbidity Mortality Weekly Update (MMWU) No.41*. Retrieved on January 16, 2024, from https://cdn.who.int/media/docs/default-source/searo/bangladesh/covid-19-who-bangladesh-situation-reports/who_covid-19-update_41_20201207.pdf?sfvrsn=d21baace_7



Simental Irkı Süt Sığırlarında Mevsimsel Süt Verimi ve Süt Yağ Oranı Değişimi: Kastamonu Köy-Kooperatifleri Birliği Üye İşletmeleri Örneği

Özlem Ayan¹ • Naci Tüzemen²

¹ Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Genetik ve Biyomühendislik ABD, Kastamonu, Türkiye; ozlemayan25@gmail.com

² Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü, Kastamonu, Türkiye; nacituzemen@gmail.com

✉ Corresponding Author: ozlemayan25@gmail.com

Please cite this paper as follows:

Ayan, Ö., & Tüzemen, N. (2025). Simental Irkı Süt Sığırlarında Mevsimsel Süt Verimi ve Süt Yağ Oranı Değişimi: Kastamonu Köy-Kooperatifleri Birliği Üye İşletmeleri Örneği. *Acta Natura et Scientia*, 6(1), 66-75. <https://doi.org/10.61326/actanatsci.v6i1.360>

MAKALE BİLGİSİ

Makale Geçmişi

Geliş: 26.04.2025

Düzeltilme: 29.05.2025

Kabul: 30.05.2025

Çevrimiçi Yayınlanma: 25.06.2025

Anahtar Kelimeler:

Kastamonu

Süt toplama merkezi

Simental

Süt yağ oranı

Ö Z E T

Bu çalışma, Kastamonu ilinin süt sığırcılığı açısından öne çıkan üç ilçesi olan Daday, Taşköprü ve Merkez ilçelerinde, 2019-2024 yılları arasında Kastamonu Köy Kalkınma ve Diğer Tarımsal Amaçlı Kooperatifler Birliği'ne üye işletmelerde yetiştirilen Simental ırkı süt sığırlarına ait aylık, mevsimsel ve yıllık süt verimi ile süt yağ oranı değişimlerini ortaya koymak amacıyla yapılmıştır. Çalışmada 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 ve 2024 yıllarına ait veriler kullanılmış, süt yağı ve süt miktarları özelliklerinde aylar ve mevsimsel değişimlerin etkileri varyans analiz ve Duncan çoklu testleri ile değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonuçlarına göre Kastamonu-Merkez ve Taşköprü ilçelerinde süt miktarlarının yıllara göre önemli ($P<0.01$) farklılık gösterdiği belirlenmiş, Daday ilçesinde ise süt verimi bakımından yıllara göre herhangi bir farklılık tespit edilmemiştir. Sütteki yağ oranı her üç ilçede de yıl faktörüne göre istatistiki olarak önemli farklılık göstermiş ($P<0.01$), Merkez, Daday ve Taşköprü ilçelerinde en yüksek süt miktarı yaz mevsiminde elde edilmiştir. Sütteki yağ oranı değişkenine göre, Daday ilçesi mevsimlere göre anlamlı farklılık göstermezken, Merkez ve Taşköprü ilçelerinin istatistiki olarak önemli farklılık gösterdiği ($P<0.01$) belirlenmiştir. Hem Merkez (3,83) hem de Taşköprü (3,99) ilçelerinde sütteki yağ oranının en yüksek olduğu mevsim sonbahar olmuştur. Altı yılın süt miktarı ortalamalarına göre Merkez ilçede en yüksek süt veriminin Haziran ve Temmuz aylarında, Daday ilçesinde Mayıs-Haziran-Temmuz ve Ağustos aylarında, Taşköprü ilçesinde ise Haziran ayında olduğu saptanmıştır. Süt yağ oranı değişkeni üzerinde ay faktörü, Merkez ve Taşköprü ilçeleri için istatistiki anlamda önemli farklılık gösterirken, Daday ilçesi için sütteki yağ oranı aylara göre farklılık göstermemiştir. Merkez ilçesi verilerine göre en yüksek yağ oranı Ekim-Kasım-Aralık ve Ocak aylarında elde edilirken, Taşköprü ilçesinde en yüksek yağ oranı Ekim-Kasım-Aralık aylarında tespit edilmiştir.

Seasonal Variation in Milk Yield and Milk Fat Content in Simmental Dairy Cattle: A Case Study of Member Farms of the Kastamonu Village Cooperatives Union

ARTICLE INFO

Article History

Received: 26.04.2025

Revised: 29.05.2025

Accepted: 30.05.2025

Available online: 25.06.2025

Keywords:

Kastamonu

Milk collection center

Simmental

Fat ratio in milk

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the monthly, seasonal, and annual variations in milk yield and milk fat content of Simmental dairy cattle raised on member farms of the Kastamonu Union of Village Development and Other Agricultural Cooperatives between 2019 and 2024, specifically in the three districts of Daday, Taşköprü, and the Central district, which are prominent in dairy farming within the province of Kastamonu. The data used in the study were collected for the years 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, and 2024. The effects of monthly and seasonal variations on milk yield and milk fat content were analyzed using analysis of variance (ANOVA) and Duncan's multiple range tests. According to the findings, statistically significant differences ($P<0.01$) were observed in milk yield over the years in the Central and Taşköprü districts, whereas no significant variation was found in Daday district. Milk fat content showed statistically significant differences by year ($P<0.01$) across all three districts. Regarding the effects of season and month, milk yield exhibited statistically significant differences ($P<0.01$) in all three districts, with the highest yields recorded during the summer season in the Central, Daday, and Taşköprü districts. While seasonal variations in milk fat content were not statistically significant in the Daday district, significant differences ($P<0.01$) were observed in the Central and Taşköprü districts. The highest milk fat content was recorded during the autumn season in both the Central (3.83%) and Taşköprü (3.99%) districts. Based on the six-year average milk yields, the peak months for milk production were June and July in the Central district, May through August in the Daday district, and June in the Taşköprü district. The effect of the month on milk fat content was statistically significant in the Central and Taşköprü districts, but not in Daday. In the Central district, the highest milk fat content was observed during October, November, December, and January, while in Taşköprü, it peaked in October, November, and December.

GİRİŞ

Süt, içerdiği yüksek biyolojik değere sahip besin öğeleri sayesinde insan sağlığı açısından son derece önemli bir hayvansal gıdadır. Özellikle kemik ve diş gelişimi başta olmak üzere vücut fonksiyonlarının sağlıklı bir şekilde sürdürülebilmesi için gerekli temel bileşenleri içermektedir. Süt ve süt ürünlerinin kalitesi, bu ürünlerden beklenen besin değerinin sağlanabilmesi ve tüketici sağlığının korunması açısından büyük önem taşımaktadır. Kalitesiz çiğ süttten üretilen yoğurt, peynir ve tereyağı gibi süt ürünlerinde istenmeyen tat, koku ve kısa raf ömrü gibi sorunlar ortaya çıkmakta; bu da hem ekonomik kayıplara hem de gıda güvenliği risklerine neden

olmaktadır. Çiğ süttün bileşimi; yağ, protein, kuru madde ve asitlik gibi parametreler üzerinden değerlendirilmekte olup, bu bileşenler ürün kalitesini ve işlenebilirliğini doğrudan etkilemektedir. Gelişmiş ülkelerde süt fiyatlandırması, söz konusu kalite parametreleri doğrultusunda belirlenmekte ve bu sayede üreticiler ve süt işleme tesisleri, kârlılıklarını kaliteye dayalı olarak şekillendirebilmektedir. Ancak, Türkiye'de süt kalitesine dayalı bölgesel veya ulusal düzeyde etkin bir fiyatlandırma politikası bulunmamaktadır. Bu durum da üretici ve işletmelerin ekonomik sürdürülebilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Oysa süt bileşimi; işletme yapısı, hayvan ırkı, mevsim, yemleme şekli, hayvan

sağlığı ve sağım sıklığı gibi çeşitli çevresel ve yönetimsel faktörlerden doğrudan etkilenmektedir (Özhan vd., 2015; Özlem, 2019).

Süt ve süt ürünleri, mikrobiyal aktiviteye karşı oldukça hassas olup, çabuk bozulabilir nitelikte gıdalardır. Bu nedenle üretimden tüketime kadar olan süreçte gıda güvenliği kurallarına sıkı sıkıya uyulması gerekmektedir. Türkiye’de süt hayvancılığı işletmeleri ile süt işleme sanayi arasında yeterli bilgi akışının sağlanamaması, bu hassas ürün grubunda ciddi gıda güvenliği problemlerine neden olmaktadır. Bu sorunlara çözüm olarak son yıllarda Süt Toplama Merkezleri’nin (STM) sayısında artış gözlemlenmiştir. Bu merkezler; çiğ sütün modern tesislere ulaştırılmasının yanı sıra üreticilerin örgütlenmesini, eğitilmesini, toplu pazarlık gücünün artırılmasını ve veteriner hizmetleri ile yem temini gibi destekleri mümkün kılarak kırsal kalkınmayı da desteklemektedir. Türkiye’de modern süt işletmelerinde çiğ süt oranının artırılması için 1987 yılından beri süt teşvik primi gibi destekleme politikalarına başvurulmaktadır. Bu düzenleme, belirli şartları taşıyan modern süt işletmeleri için yapılmıştır. Ayrıca bu merkezlerin yaygınlaştırılmasıyla sokak sütçülüğünün önüne geçilmesi hedeflenmiştir (Sayın vd., 2010).

Gelişmiş ülkelerde çiğ sütün çok büyük bir kısmı (%97-98) modern işletmelere yönlendirilerek hijyenik ve kontrollü koşullarda işlenmekte ve pazarlanmaktadır. Bu ülkelerde süt pazarlaması çoğunlukla kooperatifler aracılığıyla yürütülmekte olup, örneğin Danimarka’da bu oran %91, Almanya’da ise %70 civarındadır. Türkiye’de ise kooperatifler üreticiden sütü alarak uygun koşullarda saklamaktadır. Gelişmiş ülkelerde üretilen sütün %0,5-0,6’sı herhangi bir işlem görmeden, %99,5’i modern işletmelerde işlem görerek tüketiciye ulaştırılmaktadır. Sanayiye giden çiğ süt oranına gelince AB’nde ortalama %94,8 iken Danimarka’da %95,7, Almanya’da %94,4 ve Yunanistan’da %69,1’dir. Türkiye’de ise %20 seviyesindedir (Sayın vd., 2010).

Süt ve süt ürünlerinin üretimi için özellikle süt kooperatifleri küçük süt üreticilerine destek olarak halkın ihtiyacını karşılamak, sektörün rekabet gücünü

artırarak, yerel girişimciliği teşvik ederek, kırsal kalkınmaya destek olmak amacındadırlar. Günümüzde orman köylerini kalkındırma kooperatiflerinin kuruluş amacı orman köylüsünün olumsuz yaşam koşullarını iyileştirerek, fakir orman köylerinin kalkınmasına olanak sağlamaktır. Ayrıca, ormanlar üzerindeki baskının kaldırılmasını sağlamaktır (Çelik & Karaalp-Orhan, 2021).

Ormanlık kooperatiflerinin çalışma konuları, ormanlarda kesme, sürütme, işleme, depolama, imal, bakım, ağaçlandırma, yol bakım, ağaçlandırma ve yol yapım çalışmaları ve ikinci olarak ormanlık işlemleri dışında üretilen ürünler (el sanatları, üzüm, fındık meyve süt, tavuk, yumurta vb.) değerlendirme ve satışa sunulması için küçük ve orta ölçekli işletmeler kurulmuştur (Günşen, 2006).

Küçük üreticilerin desteklenmesi ve kırsal kalkınmanın sağlanmasında önemli faktörlerden biri olan süt kooperatifleri yerel üreticileri bir araya getirerek hem ekonomik verimliliği artırmakta hem de üretici gelirini ve yaşam standartlarını iyileştirmeye katkı sunmaktadır. Benzer şekilde, ormanlık kooperatifleri de orman köylerinde yaşayan halkın ekonomik kalkınmasını sağlamak, yaşam koşullarını iyileştirmek ve ormanlar üzerindeki insan baskısını azaltmak amacıyla faaliyet göstermektedir (Çelik & Karaalp-Orhan, 2021). Bu kooperatifler, sadece ormanlık faaliyetleriyle sınırlı kalmayıp, el sanatları, tarım ve hayvancılık ürünlerinin üretimi ve pazarlanmasına da katkı sunarak kırsal kalkınmayı çok boyutlu bir şekilde desteklemektedir (Günşen, 2006).

Özetle; süt sığırcılığı, hayvansal üretim içerisinde önemli bir yer tutmakta ve kırsal kalkınmanın sağlanmasında kritik bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda yüksek verim potansiyeline sahip kültür ırklarının bölgesel koşullara uyumu ve performanslarının izlenmesi, sürdürülebilir ve kârlı bir hayvancılık için büyük önem taşımaktadır. Simental ırkı sığırlar hem süt hem de et verimi açısından çift yönlü değerlendirilebilen bir ırk olarak Türkiye’de yaygınlaşmakta, özellikle kırsal alanlarda küçük ve orta ölçekli işletmeler için cazip bir seçenek oluşturmaktadır. Süt verimi ve süt yağ oranı hem üretici gelirini doğrudan etkileyen hem de süt işleme

sanayii açısından kaliteyi belirleyen temel parametreler arasında yer almaktadır. Ancak, bu değerlerin zaman içindeki değişimi; ırk, çevresel koşullar, besleme, bakım ve yönetim uygulamaları gibi pek çok faktörden etkilenmektedir.

Bu çalışma, Kastamonu ilinin süt hayvancılığı açısından öne çıkan üç ilçesi olan Daday, Taşköprü ve Merkez ilçelerinde, 2019-2024 yılları arasında Kastamonu Köy Kalkınma ve Diğer Tarımsal Amaçlı Kooperatifler Birliği'ne (KÖY-KOOP) üye işletmelerde yetiştirilen Simental ırkı süt sığırlarına ait aylık, mevsimsel ve yıllık süt verimi ile süt yağ oranı değişimlerini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Çalışmanın bulguları, hem bölgedeki süt üretiminin mevcut durumunu değerlendirmek hem de kooperatif temelli üretim modellerinin verimlilik üzerindeki etkisini analiz etmek açısından önem taşımaktadır. Ayrıca, elde edilen verilerin sektörel planlama, fiyatlandırma politikaları ve bölgeye özgü ıslah stratejilerinin geliştirilmesine katkı sunması hedeflenmektedir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, Tablo 1'de gösterilen Kastamonu Köy Kalkınma ve Tarımsal Amaçlı Kooperatifler Birliği'nin Kastamonu-Merkez, Daday ve Taşköprü ilçelerindeki Simental sığır ırkına sahip üye işletmelerin; 2019-2024 yılları için mevsimlere (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) ve aylara göre süt verimleri ve süt yağ oranları ile ilgili veriler kullanılmıştır.

Table 1. Number of cooperatives in Kastamonu province

Tablo 1. Kastamonu ili kooperatif sayısı

İlçeler	Kooperatif Sayısı
Merkez	71
Daday	34
Taşköprü	81

Köy Kalkınma ve Tarımsal Amaçlı Kooperatifler Birliği'ne (KÖY-KOOP) üye olan üreticilerden alınan sütler, Süt Toplama Merkezlerine (STM) getirilerek her birinden alınan örnekler ultrasonik ölçüm teknolojisi ile çalışan sistem "Milkana Milkotester

Master Classic" cihazında 2-10 ml süt ile analiz yapılmıştır. Cihaz, Windows işletim sistemi ile kendine özgü yazılım tarafından analizler kontrol edilerek, dokunmatik ekran ile kumanda edilmiştir. Yazılım cihazda yapılan analizlerin eş zamanlı görüntülenmesi ve ayarlanması, Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından oluşturulan süt kayıt sistemine ve diğer veri tabanlarına uyumlu yapılmıştır. Standart olarak yağ, protein, toplam, kuru madde, laktoz analizlerini yapabilir yapıda tam otomatiktir. Cihazın ölçüm aralığı seyreltilmemiş numuneler için; yağ %0-48, protein %0-6, laktoz %0-6, toplam kuru madde %0-50 arasındadır.

KÖY-KOOP'a üye olan üreticilerden rastgele günlerde alınan sütlerin süt yağ değerleri ölçülerek ve ay içindeki ortalamalar alınarak yağ oranını göre fiyatlandırma yapılmaktadır. Çalışmada kullanılan veriler üreticilerden STM'lere getirilen sütlerden alınan örneklerin yağ oranı ve süt miktarlarıdır.

Süt toplama merkezlerine getirilen sütlerin miktarını ve yağ oranını birçok faktör etkiler. Ancak bu çalışmada, bölgede yoğun olarak yetiştirilen Simental ırkına ait yıl, mevsim ve ay faktörlerine göre sütün miktarı ve sütteki yağ oranının üç farklı ilçedeki değişimi incelenmiştir. Süt verimi ve süt yağı ile ilgili çevre faktörlerinin etkisini belirlemek için varyans analizi yapılmış ve önemli bulunan değerler için Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır (Efe vd., 2000; Genç & Soysal, 2018). İstatistiksel verilerin değerlendirilmesinde General Linear Model (GLM) Univariate yöntemi (SPSS, 2020) kullanılmıştır.

BULGULAR

Kastamonu ili Merkez, Daday ve Taşköprü ilçeleri bazında yürütülen bu çalışmada, süt miktarı ve sütteki yağ oranı değişkenleri üzerinde yıl, mevsim ve ay faktörlerinin istatistiki anlamda önemli farklılıkları varyans analiz ve Duncan çoklu test sonuçları ile Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 2'de de görüleceği üzere; süt miktarı değişkeni üzerinde Merkez ve Taşköprü ilçeleri için yıl faktörü çok önemli ($P<0.01$), Daday ilçesi süt miktarı üzerinde yıllar arasında istatistiki anlamda bir farklılık tespit edilmemiştir. Merkez ilçede; çalışmanın dayandığı 2019 yılından 2024 yılına kadar olan dönemde süt miktarı verilerinde; 2019-2020-2021

yılları arasında nispi olarak bir artışın olduğu söylenebilir, 2022-2023-2024 yıllarında yaklaşık %36'lık bir düşüşün olduğu tabloda görülmektedir (Tablo 2). Taşköprü ilçesinde ise veri analizinin yapıldığı 2019 yılı ile 2024 yılları arasında en yüksek süt miktarı üretiminin 2021 yılında olduğu saptanmıştır (Tablo 2).

Sütteki yağ oranı değişkeni açısından verilerin analizi yapıldığında; çalışmanın yürütüldüğü her üç ilçede de yıl faktörü, süt yağ oranı değişkeni üzerinde istatistiki olarak anlamlı farklılığa sebebiyet vermiştir. Merkez ilçede en yüksek yağ oranı 2023 ve 2022 yıllarında, Daday ve Taşköprü ilçelerinde ise 2023 yılında olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2).

Mevsim faktörüne göre veriler analiz edildiğinde; her üç ilçede de mevsimlere göre süt miktarının istatistiki olarak önemli ($P<0.01$) olduğu saptanmıştır (Tablo 3). Merkez ve Daday ilçelerinde en yüksek süt miktarı yaz mevsiminde, Taşköprü ilçesinde ise en yüksek süt üretimi ilkbahar ve yaz mevsimlerinde belirlenmiştir. Sütteki yağ oranı verilerine bakıldığında ise Daday ilçesi için süt yağ oranında mevsimlere göre anlamlı farklılık saptanmazken, Merkez ve Taşköprü ilçelerinin süt yağ oranı

mevsimlere göre istatistiki olarak önemli olduğu ($P<0.01$) tespit edilmiştir. Hem Merkez ilçede hem de Taşköprü ilçesinde sütteki yağ oranının en yüksek olduğu mevsim sonbahar olarak tespit edilmiştir (Tablo 3).

Kastamonu ili Merkez, Daday ve Taşköprü ilçelerinin süt miktarlarının aylara göre değişimi analiz edildiğinde; her üç ilçede de süt miktarının aylara göre istatistiki anlamda çok önemli olduğu ($P<0.01$) tespit edilmiştir (Tablo 4). Altı yılın süt miktarı ortalamaları baz alındığında; Merkez ilçede en yüksek süt üretimi Haziran ve Temmuz aylarında; Daday ilçesinde Mayıs-Haziran-Temmuz ve Ağustos aylarında; Taşköprü ilçesinde ise Haziran ayında olduğu belirlenmiştir (Tablo 4). Süt yağ oranı değişkeni üzerinde ise ay faktörü, Merkez ve Taşköprü ilçeleri için istatistiki anlamda çok önemli ($P<0.01$) farklılık gösterirken, Daday ilçesi için sütteki yağ oranı aylara göre anlamlı farklılık göstermemiştir. Merkez ilçesi verilerine göre en yüksek yağ oranı Ekim-Kasım-Aralık ve Ocak aylarında olurken, Taşköprü ilçesi için de Ekim-Kasım-Aralık aylarında gerçekleşmiştir.

Table 2. Variance analysis and Duncan multiple test results for milk quantity and milk fat ratio variables based on year factor by district

Tablo 2. İlçelere göre yıl faktörü bazında süt miktarı ve süt yağ oranı değişkenlerine göre varyans analizi ve Duncan çoklu test sonuçları

Yıl	Süt Miktarı			Süt Yağ Oranı		
	Merkez	Daday	Taşköprü	Merkez	Daday	Taşköprü
2019	23211,06±1318,18 ^a	9729,11±910,13 ^a	24872,38±769,5 ^{bc}	3,7012±0,037 ^{bc}	3,0037±0,027 ^c	3,9323±0,012 ^b
2020	21418,35±1184,66 ^a	9752,15±975,5 ^a	25288,91±814,36 ^b	3,6096±0,034 ^d	2,9578±0,032 ^c	3,8744±0,012 ^d
2021	22629,29±1730,74 ^a	10040,65±1227,74 ^a	28805,57±912,33 ^a	3,6637±0,032 ^{cd}	2,9188±0,035 ^c	3,8847±0,009 ^{cd}
2022	14508,33±911,72 ^b	10262,82±934,64 ^a	25718,13±856,81 ^b	3,7912±0,029 ^{ab}	3,3219±0,045 ^b	3,8900±0,01 ^{cd}
2023	12701,44±827,05 ^b	10421,37±952,35 ^a	21292,49±717,56 ^d	3,9728±0,019 ^a	3,5811±0,042 ^a	3,9728±0,01 ^a
2024	15613,00±1447,43 ^b	10698,27±1340,16 ^a	22599,66±886,73 ^{cd}	3,7649±0,027 ^b	3,3668±0,054 ^b	3,9124±0,014 ^{bc}
F	14,66	1,16	10,797	11,150	49,655	11,759
P	,000	,327	,000	,000	,000	,000

Not: a, b, c, d: Aynı sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsiz, farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar istatistiksel olarak çok önemlidir ($P<0.01$) ve önemli ($P<0.05$) bulunmuştur.

Table 3. Variance analysis and Duncan multiple test results according to milk quantity and milk fat ratio variables based on seasonal factor by districts

Tablo 3. İlçelere göre mevsim faktörü bazında süt miktarı ve süt yağ oranı değişkenlerine göre varyans analizi ve Duncan çoklu test sonuçları

Mevsim	Süt Miktarı			Süt Yağ Oranı		
	Merkez	Daday	Taşköprü	Merkez	Daday	Taşköprü
Kış	13863,59±750,13 ^c	6828,22±572,07 ^c	19772,78±517,85 ^b	3,77±0,0027 ^{ab}	3,22±0,036 ^a	3,93±0,009 ^b
İlkbahar	18644,89±961,31 ^b	10857,63±879,35 ^b	29070,79±730,84 ^a	3,67±0,0022 ^c	3,14±0,033 ^a	3,82±0,008 ^c
Yaz	24272,06±1317,45 ^a	15166,92±1037,79 ^a	30672,12±767,79 ^a	3,70±0,0022 ^{bc}	3,15±0,033 ^a	3,91±0,009 ^b
Sonbahar	13701,26±771,09 ^c	8648,29±695,45 ^{bc}	18367,20±529,85 ^b	3,83±0,0026 ^a	3,20±0,036 ^a	3,99±0,009 ^a
F	25,556	19,028	91,989	7,171	1,291	59,371
P	,000	,000	,000	,000	,276	,000

Not: a, b, c: Aynı sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsiz, farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar istatistiksel olarak çok önemlidir ($P<0.01$) ve önemli ($P<0.05$) bulunmuştur.

Table 4. Variance analysis and Duncan multiple test results for milk quantity and milk fat ratio variables based on month factor by district

Tablo 4. İlçelere göre ay faktörü bazında süt miktarı ve süt yağ oranı değişkenlerine göre varyans analizi ve Duncan çoklu test sonuçları

Ay	Süt Miktarı			Süt Yağ Oranı		
	Merkez	Daday	Taşköprü	Merkez	Daday	Taşköprü
Ocak	14445,93±1278,42 ^{cd}	6998,89±985,73 ^c	19970,22±843,09 ^{fg}	3,75±0,044 ^{abcd}	3,21±0,059 ^a	3,94±0,016 ^c
Şubat	14411,03±1326,93 ^{cd}	6827,88±987,32 ^c	21063,38±912,00 ^f	3,71±0,048 ^{cd}	3,20±0,060 ^a	3,85±0,013 ^{ef}
Mart	17693,62±1623,1 ^{bcd}	8969,18±1293,53 ^{bc}	25839,73±1101,98 ^{de}	3,72±0,039 ^{cd}	3,13±0,059 ^a	3,82±0,015 ^f
Nisan	18240,14±1544,26 ^{bc}	10120,94±1407,89 ^{bc}	28492,27±1220,37 ^{cd}	3,63±0,038 ^d	3,15±0,057 ^a	3,77±0,015 ^g
Mayıs	20087,27±1852,27 ^b	13317,29±1770,05 ^{ab}	32747,48±1414,58 ^b	3,68±0,039 ^d	3,13±0,055 ^a	3,86±0,014 ^{ef}
Haziran	26099,48±2418,58 ^a	16176,23±1841,97 ^a	36285,29±1427,36 ^a	3,66±0,039 ^d	3,16±0,055 ^a	3,92±0,015 ^{cd}
Temmuz	25465,54±2362,99 ^a	15615,00±1800,85 ^a	29728,62±1241,44 ^{bc}	3,74±0,036 ^{bcd}	3,17±0,055 ^a	3,92±0,015 ^{cd}
Ağustos	20498,22±1814,21 ^b	13302,54±1675,09 ^{ab}	24976,00±1183,92 ^e	3,71±0,042 ^d	3,13±0,064 ^a	3,88±0,017 ^{de}
Eylül	16,632,54±1466,92 ^{bcd}	10971,07±1405,64 ^{bc}	21159,69±1011,28 ^f	3,74±0,045 ^{bcd}	3,18±0,062 ^a	3,96±0,016 ^{bc}
Ekim	12243,84±1279,33 ^d	7846,64±1113,76 ^c	16631,68±848,20 ^g	3,86±0,044 ^{ab}	3,21±0,062 ^a	3,99±0,017 ^{ab}
Kasım	12191,90±1197,41 ^d	7135,89±1039,98 ^c	17143,33±852,49 ^g	3,88±0,049 ^a	3,20±0,064 ^a	4,04±0,015 ^a
Aralık	12585,56±1290,52 ^d	6619,41±999,43 ^c	18026,54±932,24 ^{fg}	3,85±0,048 ^{abc}	3,26±0,069 ^a	4,00±0,017 ^{ab}
F	8,079	6,209	33,354	3,320	,431	23,516
P	,000	,000	,000	,000	,943	,000

Not: a, b, c, d, e: Aynı sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemsiz, farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar istatistiksel olarak çok önemlidir ($P<0.01$) ve önemsiz ($P>0.05$) bulunmuştur.

TARTIŞMA

Bu çalışmada elde edilen bulgular, çiğ sütün süt yağı oranının mevsimsel değişimlerden etkilendiğini göstermektedir. Tablo 2’de görüleceği üzere sütteki yağ oranında, Daday ilçesinde aylara ve mevsimlere göre anlamlı farklılık saptanmaz iken, Merkez ve Taşköprü ilçelerinde en yüksek süt yağ oranının %3,99 ile sonbahar mevsiminde olduğu saptanmıştır. Bu durum, özellikle bu iki ilçede süt bileşiminin mevsimsel koşullara duyarlı olduğunu göstermektedir. Adıyaman ilinde yapılan benzer bir çalışmada (Akın vd., 2016), çiftlikten temin edilen sütlerde en düşük yağ oranı %3,59 ile ilkbaharda, en yüksek oran ise %4,02 ile kış mevsiminde rapor edilmiştir. Bu bulgu, çalışmamızla büyük ölçüde örtüşmekte ve süt kalitesine mevsimsel faktörlerin etkili olduğunu doğrulamaktadır. Toplayıcılardan elde edilen sütlerde ise yağ oranı kış (%3,11), ilkbahar (%2,59), yaz (%2,43) ve sonbahar (%2,65) olarak tespit edilmiş; bu değerler arasında istatistiksel olarak önemli ($P<0.01$) bulunmuştur.

Çalışmamızda, Tablo 2’ye göre en düşük süt yağ oranı %3,13 ile Daday ilçesinde; Mart, Mayıs, Ağustos aylarında, en yüksek süt yağ oranı ise Taşköprü ilçesinde Kasım ayında %4,04 olarak tespit edilmiştir. Aralık ayında ise bu oran Merkez ilçede %3,85, Daday’da %3,26, Taşköprü’de %4 olduğu tespit edilmiştir. Bu değerler, Türk Gıda Kodeksi’nin Çiğ Sütün Arzına Dair Tebliğ’ine (Tebliğ No: 2017/20) göre belirlenen minimum %3,4 yağ oranı eşiğiyle kıyaslandığında bazı dönemlerde yetersiz kalmaktadır (Anonim, 2017). Erzurum Ticaret Borsası tarafından üç ilçede yürütülen bir araştırmaya göre, Aralık ayında soğutma tanklarından alınan çiğ süt örneklerinin yağ oranları %3,44 ile 7,59 arasında değiştiği ve ortalama %4,78 olduğu bildirilmiştir (Açık & Özdemir, 2022). Bu oldukça yüksek değerler, özellikle soğutma tankları kullanımı ve sağım sonrası hızlı soğutmanın süt bileşimine olumlu etkisini göstermektedir (Açık & Özdemir, 2022).

Sütün kompozisyonunun birçok faktör tarafından etkilendiği bilinmektedir. Özek (2015) sütün bileşiminin genetik yapı ya da ırk ile besleme ve çevresel faktörler olmak üzere iki ana grupta incelendiğini ifade etmiştir. Mevsimsel değişkenlik,

özellikle besleme rejimi ve çevresel koşullarla doğrudan ilişkilidir. İlkbahar ve yaz aylarında merada otlama ve sıcaklık artışına bağlı olarak kuru madde alımı azalmakta, bu durum süt yağı oranını düşürmektedir. Bu açıklama çalışmamızda elde edilen verilerle de örtüşmekte olup, süt yağının en yüksek olduğu dönemlerin sonbahar ve kış ayları olduğu görülmüştür.

Looper (2012) süt verimi ile süt yağı oranı arasında negatif bir ilişki bulunduğunu belirtmiştir. Bu görüş çalışmamızla da doğrulanmaktadır. Öyle ki Tablo 3’te görüldüğü üzere süt verimi arttıkça süt yağı oranında düşüş gözlemlenmiştir. Ancak literatürde yer alan bazı çalışmalar, elde edilen bu çalışma bulguları çelişmektedir. Örneğin, Siyah Alaca ırkı ineklerle yapılan bir araştırmada, en düşük süt yağ oranı sonbaharda (%3,44), en yüksek oran ise yaz mevsiminde (%3,72) bulunmuştur (Önal vd., 2021). Bu sonuç, çalışmamızla farklılık göstermektedir. Simental ırkı ineklerle yürütülen çalışmamızda, farklı ırkların süt kompozisyonu üzerindeki etkisini de ortaya koymaktadır. Aynı araştırmada Simental ırkı ineklerden alınan süt numunelerinde en düşük yağ oranı sonbaharda (%3,52), en yüksek oran ise kış ve ilkbaharda (%3,90) gözlemlenmiştir. Bu durum, çalışmamızda saptanan sonbahar ve kış mevsimlerinde yüksek süt yağ bulgusuyla kısmen uyumludur.

İzmir ili Damızlık Sığır Yetiştiricilerine Birliği (DSYB)’ne üye Simental ırkı ineklerden alınan örnekler ile yapılan araştırmada; mevsime göre sütlerin içerikleri değerlendirildiğinde yağ bakımından ortalamalar arasında istatistiksel fark olduğu ifade edilmiştir. Sütlerin yağ içeriğinin ortalama %3,72 olduğu, en düşük oranın sonbahar %3,52 ve en yüksek oranın ise kış mevsimine %3,9 ve ilkbahar mevsimine %3,9 ait olduğu rapor edilmiştir (Onal vd., 2021). Tarafımızdan yürütülen bu çalışmada ise sonbahar ve kış aylarında en yüksek, yaz ve ilkbahar aylarında en düşük süt yağ ortalamasına sahip olduğu tespit edilmiştir.

Burdur ili Tefenni ilçesinde süt sığırcılığı üzerine uzmanlaşan bir şirkette yapılan çalışmaya göre; en yüksek süt yağ oranı Ocak ayında (%3,8), en düşük ise Temmuz ve Ağustos aylarında (%3,50) olduğu

Sağlam & Köknaroğlu (2016) tarafından ifade edilmiştir. Kastamonu ilinin üç ilçesinde yürüttüğümüz bu çalışmamızda Tablo 3'e göre, en yüksek süt yağ oranı %4.04 ile Kasım ayında en düşük ise Mart, Mayıs ve Ağustos aylarında %3,13 ile tespit edilmiştir. Tuncer vd. (2017), Kırşehir, Aksaray, Nevşehir ve Niğde illerinde yürüttükleri bir diğer çalışmada, en yüksek yağ oranlarını kış (%3,67) ve ilkbaharda (%3,64), en düşük oranları ise yaz (%3,58) ve sonbahar (%3,57) mevsimlerinde tespit etmişlerdir. Bu sonuçlar, çalışmamızla kısmen çelişmekte olup, bölgesel ve irksal farklılıkların etkisini ortaya koymaktadır.

Tekirdağ ilinden 2013 yılında özel bir süt fabrikası tarafından günlük olarak toplanan sütlerde rutin olarak yapılan analizlerde mevsimlere göre süt yağ oranları, kış mevsiminde %4,07, ilkbahar %3,96, yazın %3,67 ve sonbaharda %3,77 süt yağ oranı olduğu rapor edilmiştir (Coşkun vd., 2014). Çalışmamızda ise, en yüksek süt yağ oranı kış (%3,93) ve sonbaharda (%3,99), en düşük süt yağ oranı yaz (%3,15) ve ilkbahar (%3,14) mevsiminde olduğu tespit edilmiştir.

Yeni Zelanda'daki Massey Üniversitesi'nde Ağustos 2016'dan Mayıs 2018'e kadar iki tam sağım sezonu boyunca çoğunluğu Friesian-Jersey melezi olan inek sütlerinden alınan örnekler üzerinde yürütülen bir çalışmada ise süt yağı oranı Eylül-Ekim aylarında en düşük (%4,56), Nisan-Mayıs aylarında ise en yüksek (%5,48) olduğu araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Li vd., 2019). Bu bulgular, coğrafi ve iklimsel farklılıkların süt bileşimi üzerindeki belirgin etkilerini gözler önüne sermektedir. Çalışmamızda ise Eylül-Kasım aylarını kapsayan sonbahar döneminde en yüksek, ilkbahar aylarında en düşük süt yağ oranları olduğu belirlenmiştir.

SONUÇ

Sanayide işlenecek kaliteli ve güvenli sütü elde etmek için sütün kooperatiflere ait süt toplama merkezlerinde soğutma tanklarında muhafaza edilip kooperatif tarafından test edilmesi önem arz etmektedir (Demirbaş vd., 2007). Sütteki yağ oranı çiğ süt kalitesini belirlemede önemli bir kriterdir (Şahin & Kaşıkçı, 2014). Bu nedenle Kastamonu-Merkez, Taşköprü, Daday ilçelerinde bulunan süt toplama

merkezlerinden KÖY-KOOP tarafından alınan süt örnekleri süt yağ oranları Daday ilçesinde en düşük olduğu tespit edilmiştir. Çiğ Sütün Arzına Dair (Tebliğ No: 2017/20) Tebliğ'e göre çiğ sütün süt yağı oranı en %3,4 olması gerekmektedir (Anonim, 2017). Daday ilçesinde süt yağı bu orana uymamaktadır. Taşköprü ve Merkez ilçelerinden alınan örnekler ise bu oranın üzerinde kalmaktadır. Aylara göre süt verimleri ise üç ilçede de orantılı bir şekilde artıp azalmaktadır. Ayrıca, bu çalışma farklı mevsimlerin süt yağı oranı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkiler yarattığını ortaya koymuştur. Bulgularımız, çoğu literatür çalışmasıyla paralellik göstermekte; ancak farklı ırkların, bölgesel, besleme uygulamaları ve çevresel koşulların süt kompozisyonu üzerinde belirleyici olduğunu da vurgulamaktadır. Bu çalışmadan elde edilen bulgular değerlendirildiğinde sütün miktar ve kalitesinin piyasa taleplerine göre düzenlenmesinde çiftçilere, bölgeye uygun süt üretim planlaması yapmaları yönünden aydınlatıcı bilgiler sunulduğu ifade edilebilir.

TEŞEKKÜR

Çalışmaya esas olan verilerin tedarik ve paylaşımında destek ve yardımcı olan Kastamonu Köy Kalkınma ve Diğer Tarımsal Amaçlı Kooperatifler Birliği'ne teşekkür ederiz.

Etik Standartlara Uygunluk

Yazarların Katkısı

ÖA: Kavramsallaştırma, Araştırma, Metodoloji, Veri küratörlüğü, Yazma-rijinal taslak hazırlama, Yazma-gözden geçirme ve düzenleme

NT: Kavramsallaştırma, Denetim, Yazma-gözden geçirme ve düzenleme

Tüm yazarlar makalenin son halini okumuş ve onaylamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını deklare etmektedir.

Etik Onay

Yazarlar bu çalışma için resmi etik kurul onayının gerekli olmadığını bildirmektedir.

Finansal Destek

Yazarlar bu çalışma için herhangi bir finansal destek almadıklarını bildirmektedir.

Veri Kullanılabilirliği

Yazarlar, bu çalışmanın bulgularını destekleyen verilerin makale içinde mevcut olduğunu onaylamaktadır.

Yapay Zeka Açıklaması

Yazarlar, bu makalenin yazımında veya görsel, tablo veya şekillerin oluşturulmasında hiçbir üretken yapay zekanın kullanılmadığını teyit etmektedirler.

KAYNAKLAR

- Açık, B., & Özdemir, S. (2022). *Erzurum'da süt toplama merkezlerinden alınan çiğ sütlerin somatik hücre sayısı ile bazı kalite niteliklerinin belirlenmesi* [Determination of somatic cell number and other quality characteristics of raw milk from milk collection centers in Erzurum]. *ATA-Gıda Dergisi*, 1(2), 0008.
- Akın, M. S., Yapık, Ö., & Akın, M. B. (2016). *Adıyaman ilinde süt üretim çiftliklerinden ve toplayıcılardan sağlanan sütlerin bazı özellikleri* [Some properties of raw milk obtained from dairy production farm and collectors in Adıyaman]. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 20(4), 253-265. <https://doi.org/10.29050/harranziraat.282266>
- Anonim (2017). Türk gıda kodeksi. Çiğ Sütün Arzına Dair Tebliğ (Tebliğ No 2017/20) Ek-5 Çiğ sütün bileşimi. Resmi Gazete. 27.04. Sayı 30050. Ankara.
- Coşkun, P., Çimen, M., Başboğa, M. S., Topal, O. E., & Duman, O. (2014). *Tekirdağ ilinden elde edilen sütlerde biyokimyasal parametrelerin mevsimsel karşılaştırılması. İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi*, 6(22), 19-24.
- Çelik, M., & Karaalp-Orhan, H. S. (2021). *Tarımsal Kooperatiflerin Mevcut Durum Analizi ve Sorunları: Denizli-Acıpayam İlçesi Süt Kooperatifleri Örneği* [Problems of agricultural cooperatives: The case of Denizli Acıpayam dairy cooperatives]. *Paradoks Ekonomi, Sosyoloji ve Politika Dergisi*, 17(1), 35-64.

- Demirbaş, N., Çukur, F., Tosun, D., & Gölge, E. (2007). *Süt sektöründe gıda güvenliğinin sağlanmasında süt toplama merkezlerinin rolü ve sektörün gelişme potansiyeli üzerine etkileri: İzmir ili örneği. TÜBİTAK Proje Raporu (TOVAG-105O720)*.
- Efe, E., Bek, Y., & Şahin, M. (2000). *SPSS'te Çözümleri ile İstatistik Yöntemler II. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Yayınları*.
- Genç, S., & Soysal, M. İ. (2018). Parametrik ve parametrik olmayan çoklu karşılaştırma testleri [Parametric and nonparametric post hoc tests]. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 1(1), 18-27.
- Günşen, H. B. (2006). *Batı Karadeniz Bölgesi'ndeki ormancılık kooperatiflerinin sorunları ve çözüm önerileri (Kastamonu Örneği)*. [Problems and resolution suggestions of forestry cooperatives in Western Blacksea Region (Kastamonu case study)]. [Ph.D. Thesis. Zonguldak Karaelmas University].
- Li, S., Ye, A., & Singh, H. (2019). Seasonal variations in composition, properties, and heat-induced changes in bovine milk in a seasonal calving system. *Journal of Dairy Science*, 102, 7747-7759. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16685>
- Looper, M. (2012). *Factors affecting milk composition of lactating cows. FSA4014*. University of Arkansas, Division of Agriculture Research & Extension Service Publication.
- Onal, A. R., Ozkan M., & Tuna, Y. T. (2021). *İzmir ilinde özel bir işletmede yetiştirilen simental ineklerde somatik hücre sayısı, süt verimi ve bileşenleri arasındaki ilişkiler* [The relationship between somatic cell count, milk yield and components for simental cows which raised in a private company in Izmir]. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 34(2), 249-254. <https://doi.org/10.29136/mediterranean.836038>
- Önal, A. R., Özkan M., & Tuna, Y. T. (2021). *Siyah Alaca süt sığırlarında mevsim ve laktasyon sırasının sütün bileşimi ve kalitesine etkisi* [The effects of season and lactation number on the composition and quality of Holstein cattle raw milk]. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(2), 368-374. <https://doi.org/10.33462/jotaf.831567>

- Özek, K. (2015). *Süt sığırlarında süt kompozisyonunu etkileyen faktörler ve besleme-süt kompozisyonu ilişkisi* [Factors affecting composition of milk in dairy cattle and relation between nutrition and milk composition]. *Bahri Dağdaş Hayvancılık Araştırma Dergisi*, 4(2), 37-45.
- Özhan, M., Tüzemen, N., & Yanar, M. (2015). *Büyükbaş hayvan yetiştirme*. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Notu, Yayın No:134, Erzurum.
- Özlem, O. (2019). *Kırşehir ilinde üretilen inek sütlerinin bileşim özelliklerini ve somatik hücre sayısını etkileyen faktörler* [Factors affecting composition properties and somatic cell count of cow milk produced in Kırşehir province]. [Ph.D. Thesis. Kırşehir Ahi Evran University].
- Sağlam, H., & Köknaroğlu, H. (2016). *Süt sığırcılığında mevsimin sürdürülebilirliğe etkisinin incelenmesi* [Examination of effect of season on sustainability of dairy cattle production]. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11(2), 35-45.
- Sayın, C., Mencet, M. N., & Taşcıoğlu, Y. (2010). *Süt toplama merkezlerinin, sokak sütçülüğünü önlemedeki rollerinin belirlenmesi: Antalya ili örneği* [Evaluating the roles of milk collecting facilities against milk roundsman system]. *Akdeniz Üniversitesi, Kırsal Ziraat Fakültesi Dergisi*, 23(2), 117-125.
- SPSS. (2020). *IBM SPSS Statistics 22.0 for Windows*. Armonk, NY.
- Şahin, A., & Kaşıkçı, M. (2014). *Sivas ili Yıldızeli ilçesinde halk elinde yetiştirilen esmer sığırların çiğ süt kompozisyonunun belirlenmesi* [Determination of milk composition of brown Swiss cows raised in different village conditions Yıldızeli district of Sivas province]. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11(2), 44-50.
- Tuncer, K., Kul, E., & Şahin, A. (2017). *TR71 bölgesindeki süt sığırı işletmelerinden toplanan çiğ sütlerin bazı kalite özelliklerinin belirlenmesi* [Determination of some quality characteristics of raw milk samples collected from dairy farms in TR71 region]. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 30(1), 65-69.



Çanakkale Koşullarında Farklı Azot ve Fosfor Dozlarının Nanede (*Mentha spp.*) Morfolojik Özellikler ve Uçucu Yağ Üzerine Etkileri

Bahri İzci¹

¹ Çanakkale Onsekiz Mart University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops, 17020, Çanakkale, Türkiye; bizci@comu.edu.tr

✉ Corresponding Author: bizci@comu.edu.tr

Please cite this paper as follows:

İzci, B. (2025). Çanakkale Koşullarında Farklı Azot ve Fosfor Dozlarının Nanede (*Mentha spp.*) Morfolojik Özellikler ve Uçucu Yağ Üzerine Etkileri. *Acta Natura et Scientia*, 6(1), 76-91. <https://doi.org/10.61326/actanatsci.v6i1.376>

MAKALE BİLGİSİ

Makale Geçmişi

Geliş: 09.06.2025

Düzeltilme: 25.06.2025

Kabul: 26.06.2025

Çevrimiçi Yayınlanma: 26.06.2025

Anahtar Kelimeler:

Nane

Uçucu yağ

Tıbbi aromatik bitkiler

Azot

Fosfor

Ö Z E T

Çanakkale koşullarında üç farklı nane tür ve tipinde (*Mentha × piperita* L. var Mitcham, *M. piperita* ve *M. spicata*), 3 farklı azot dozu (Kontrol, 4 kg/da ve 8 kg/da) ve 3 farklı fosfor dozunun (Kontrol, 3 kg/da ve 6 kg/da) verim ve tarımsal özellikleri üzerine olan etkinin araştırıldığı bu çalışma 2021-2022 yıllarında Çanakkale ili Sarıcaeli Köyünde gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ilk yılında bitki boyu ve uçucu yağ oranları, ikinci yıla göre daha düşük olmuştur. Araştırmanın ikinci yılında ise; yeşil herba verimi, drog herba verimi, kuru madde oranı ve uçucu yağ verimi, daha fazla olmuştur. Denemede bitki boyu genellikle 4 kg'lık azot dozuna kadar artış göstermiş, bu dozdan sonra azalmıştır. Bitki boyu olarak en yüksek değer *M. piperita*'da kg azot 3 kg fosfor uygulamasından elde edilmiştir. Yıllar ortalamasına bakıldığında uçucu yağ oranına açısından en iyi sonuç *M. spicata*'da 4 kg/da azot ve 3 kg/da fosfor uygulamasından elde edilmiştir. En fazla uçucu yağ verimi 4 kg azot ve 3 kg'lık fosfor dozunda (*M. piperita* L. Mitcham 5,95 l/da, *M. piperita* 5,55 l/da ve *M. spicata* 5,80 l/da) belirlenmiştir, Çanakkale koşullarında *M. spicata* tipi nane için en yüksek verimin alındığı 4 kg/da azot 3 kg/da fosfor dozunda gübre kullanılarak üretilmesinin uygun olacağı ve alternatif olarak ta *M. piperita* L. Mitcham tipi nanenin yer alabileceği ortaya çıkmıştır.

Effects of Different Nitrogen and Phosphorus Doses on Morphological Characteristics and Essential Oil of Mint (*Mentha spp.*) in Çanakkale Conditions

ARTICLE INFO

Article History

Received: 09.06.2025

Revised: 25.06.2025

Accepted: 26.06.2025

Available online: 26.06.2025

Keywords:

Mint

Essential oil

Medicinal and aromatic plants

Nitrogen

Phosphorus

A B S T R A C T

This study, which investigated the effects of 3 different nitrogen doses (Control, 4 kg/da and 8 kg/da) and 3 different phosphorus doses (Control, 3 kg/da and 6 kg/da) on yield and agronomic properties of three different mint species and types (*Mentha × piperita* L. var Mitcham, *M. piperita* and *M. spicata*) in Çanakkale conditions, was carried out in Sarıcaeli Village of Çanakkale province in 2021-2022. In the first year of the study, plant height and essential oil ratios were lower than in the second year. In the second year of the study, green herb yield, drug herb yield, dry matter ratio and essential oil yield were higher. In the trial, plant height generally increased up to 4 kg nitrogen dose and decreased after this dose. The highest value for plant height was obtained from kg nitrogen and 3 kg phosphorus application in *M. piperita*. When the average of the years is considered, the best result in terms of essential oil ratio was obtained from 4 kg/da nitrogen and 3 kg/da phosphorus application in *M. spicata*. The highest essential oil yield was determined at 4 kg nitrogen and 3 kg phosphorus dose (*M. piperita* L. Mitcham 5.95 l/da, *M. piperita* 5.55 l/da and *M. spicata* 5.80 l/da). It was revealed that in Çanakkale conditions, *M. spicata* type mint would be suitable to be produced using 4 kg/da nitrogen and 3 kg/da phosphorus dose fertilizer which is the most yielded and *M. piperita* L. Mitcham type mint could be used as an alternative.

GİRİŞ

Tıbbi ve aromatik bitkilerin tedavi amacıyla kullanımları oldukça yaygın olur tarihi çok eskidir. Tedavi amacıyla kullanılan bitkilerin sayısı, antik çağdan beri devamlı bir artış göstermiştir. Mezopotamya'da kullanılan bitkisel drog yaklaşık 250 civarında olduğu ve 19. yüzyılın başlarında ise bu sayının 13.000'e yükseldiği bilinmektedir (Baylav, 1968; Üstün, 1998). Faydaoğlu & Sürücüoğlu (2011) 20.000 civarında bitkinin tedavi amacıyla kullanıldığını ifade etmiştir. Baytop (1999) ise Türkiye'de tıbbi amaçla 1.000 civarında bitkinin kullanıldığını bildirmiştir. Tıbbi ve aromatik bitkiler hem etken madde içeriği hem de alternatif kullanım seçenekleri açısından geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu sebeple standart bir gruplandırma olmayıp genellikle familya, etken madde, tüketim ve kullanım alanları, kullanılan organları ve farmakolojik etkileri açısından sınıflandırılmaktadır. En yaygın olanı ise etken maddelerine göre yapılan gruplandırma (Bayram vd., 2010).

Önemli bir tıbbi ve aromatik bitki olan nane, *Mentha* türlerine verilen genel bir isim olup çok yıllık, otsu bitkidir (Başer, 1997). M.Ö. 1200-1600 yıllarında Mısır'da *Mentha* türünün kalıntılarına rastlanmıştır. *Mentha*'nın 5. yüzyılda mutfaklarda baharat olarak kullanıldığı, Akdeniz ve Orta Avrupa'da yetiştiği ve yayılış gösterdiği bildirilmektedir (Öztürk, 1996). Nananın dünyada kültürü yapılan en önemli türleri İngiliz nanesi (*Mentha piperita*), Japon nanesi (*M. arvensis*) ve bahçe nanesi (*M. spicata*) türleridir (Baydar, 2007). Nanede endüstriyel alanda en yoğun kullanımı uçucu yağlardır (Ellialtıoğlu vd., 2008). Uçucu yağı ticari olarak değerli olduğundan *Mentha* türlerinin çoğu ülkede kültür tarımı yapılmaktadır (Özgüven & Kırıcı, 1999). *M. piperita*, *M. spicata*, *M. arvensis* L, *M. citrata* Ehrh. ve *M. gracilis* Sole uçucu yağ üretimi için tarımı yapılan önemli türlerdir (Maffei vd., 1986). Dünyada, uçucu yağ üretiminin yaklaşık olarak %15'ini karşılayan nane, narenciye yağlarından sonra ikinci sırayı almaktadır (Özgüven & Kırıcı, 1999; Telci vd., 2004). Bu sebeple kaliteli yağ içeren nane türlerinin araştırılması, yetiştirme tekniklerinin

bölgelere göre optimize edilmesi gerekmektedir (Ellialtıoğlu vd., 2008).

Franz vd. (1984) nanenin veriminin yetiştirildiği bölgeye göre değişim gösterdiğini belirtmiş ve Almanya'da *M. piperita*'nın herba veriminin 1420-3150 kg/da, Türkiye'de ise yaş herba veriminin 670-1350 kg/da, uçucu yağ oranının ise her iki ülkede de %2,40-2,85 arasında olduğunu bildirmiştir. Özgüven & Kırıcı (1999) Çukurova bölgesinde yaptıkları bir çalışmada *M. spicata*'da bitki boyunun 27,8-88,1 cm arasında bulunduğunu rapor etmiştir. Bitki gelişimi için gübreleme önemli bir faktör olup azot ve fosfor gübrelemesinin de bitki gelişiminde önemli rol oynadığı bildirilmektedir (Bhardwaj & Kaushal, 1989). Naneye azotlu gübrelemenin verimi artırdığı (Nelson vd., 1971), toprak tipi ve yetiştirilen bölgeye göre 3-22,5 kg/da azot gübrelemesi yapılması gerektiğini önerilmiştir (Lacy vd., 1981).

Heeger (1956) azotlu gübrenin nane verimini %46 artırdığını ancak nanede uçucu yağ oranının da arttığını fakat potasyumlu gübrelerin ise azalttığını bildirmiştir. Nelson vd. (1971) nanede uygulanan azotlu gübrenin kuru maddeyi artırdığını bildirilmiştir. Aynı şekilde azotlu gübrenin yeşil herba, kuru madde ve uçucu yağ verimini de artırdığı tespit edilmiştir (Piccaglia vd., 1993; Ahsan, 1999). Azot uygulamasının *M. arvensis* ve *M. spicata* gibi nane türlerinde kuru madde ve uçucu yağ verimini artırdığı belirlenmiştir (Saxena & Singh, 1995). Hindistan'da yapılan Japon nanesi üzerine azot ve fosfor gübrelemenin etkisinin araştırıldığı bir çalışmada en yüksek kuru madde miktarı (7,2 kg/da), taze herba verimi (2,42 t/da), uçucu yağ oranı (%0,49) ve uçucu yağ verimi (11,91 kg/da) 10 kg/da azot ve 6 kg/da fosfor uygulamasından elde edilmiştir (Munsi, 1992).

Weiss (1997) nanede yaptıkları bir çalışmada azotlu gübrelemenin yeşil herba verimini artırdığını bildirmiştir. Aromatik bitkilerde uçucu yağ miktarının çevresel faktörlere, bitkinin genetik yapısına ve yetiştirme şartlarına göre değiştiği belirtilmiştir (Telci, 2006; Figueiredo vd., 2008). Piccaglia vd. (1993) farklı dozlardaki azot gübrelemesinin nanede uçucu yağ verimini artırdığını tespit etmiştir. Şarer vd. (2011) Türkiye'nin doğu

bölgelerinden topladıkları *M. spicata* üzerinde yaptıkları çalışma sonucunda uçucu yağ oranının %3,24 olduğunu bildirmiştir. Baydar (2007) Türkiye'de naneden yılda 1000-2000 kg/da yeşil herba, 300-600 kg/da kuru herba, 150-300 kg/da kuru yaprak, %45-70 yaprak oranı ve %2-3 arasında uçucu yağ oranı elde edildiğini bildirmektedir.

Alsafar & Al-Hassan (2009) *Mentha longifolia*'da farklı azot ve fosfor dozlarının verim unsurları üzerine yaptıkları çalışmada en yüksek uçucu yağ verimini (14,11 kg/da) N75, P₂O₅(50) gübre dozunda, en yüksek uçucu yağ oranını ise (%1,46, %1,46) gübre uygulanmamış parsellerden elde etmişler, diğer gübre dozlarında ise önemli bir farklılığın olmadığını belirtmişlerdir. Telci vd. (2010) Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde *M. spicata* türüyle yapmış oldukları çalışmalarda farklı lokasyonlarda uçucu yağ oranının %2,74-%2,41 arasında değiştiğini ve farklı çevre koşullarının uçucu yağ miktarını etkilediğini ifade etmiştir.

Tıbbi ve aromatik bitkilerin gelişimini genetik faktörler ve çevresel etmenler ile tarımsal uygulamalar oldukça fazla etkilenmektedir (Clark & Menary, 1980). Bu çalışmanın amacı Çanakkale koşullarında üç nane genotipinin (*M. piperita* L. var. Mitcham, *M. piperita* ve *M. spicata*) tarımsal ve kalite özellikleri üzerine farklı azot ve fosfor dozlarının etkilerinin belirlenmesidir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma Alanı

Bu çalışma Çanakkale ili Merkez ilçesi Sarıcaeli Köyünde gerçekleştirilmiştir. Deneme yerinin toprağı, organik maddece iyi durumda, alüvyal özellikte, düz, derin profilli topraklardır. Deneme alanı pH değeri 7,2-7,6 arasında ve organik maddece iyi, kation değişim kapasitesi de yüksektir (Figueiredo vd., 2008). Denemenin yapıldığı 2021 ve 2022 yıllarında vejetasyon döneminde geçmiş yıllara oranla az yağış gerçekleşmiştir. Vejetasyon döneminde elde edilen oransal nem değerleri, uzun yıllar ortalamasına paralellik göstermiştir. Güneşlenme süresi değerleri, uzun yıllar ortalama değerlerine benzer değerlerde tespit edilmiştir.

Materyal

Bu çalışmada Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümünde bulunan Balıkesir ve Çanakkale'nin farklı yerlerinden temin edilen *Mentha × piperita* L. var Mitcham, *M. piperita* ve *M. spicata* tipi naneler kullanılmıştır.

Yöntem

Çalışma, bölünmüş parseller deneme desenine göre üç tekerrürlü planlanarak kurulmuş, naneler (*Mentha × piperita* L. var Mitcham, *M. piperita* ve *M. spicata*) ana parselleri, azot dozları (Kontrol, 4 kg/da ve 8 kg/da) ve fosfor dozları (Kontrol, 3 kg/da ve 6 kg/da) alt parselleri oluşturmuştur. Birden fazla biçim yapılan nane, bitki boyu ve uçucu yağ oranında elde edilen verilerin değerlendirilmesinde, bölünen bölünmüş parseller deneme deseni kullanılmıştır. Nane tipleri ana parselleri, gübre dozları alt parselleri oluşturmuştur.

Alt parseller beş sıradan oluşup parsel alanı 8 m² (5×2=10 m²), dikim sıklığı 20×40 cm şeklindedir. Biçimlerde, kenar tesiri olarak birer sıra ve parsel başlarından yarım metre kenar tesiri bırakılarak, geri kalan alanda ölçüm ve gözlem yapılmıştır. Bir vejetasyon döneminde üç biçim yapılmıştır. 2021 ve 2022 yıllarında parsellerde yağmurlama sulama yapılmıştır. Her iki deneme yılında da herhangi bir zararlı veya hastalıkla karşılaşmadığından kimyasal ilaçlama yapılmamıştır. Gerekğinde yabancı ot mücadelesi hem mekanik yöntemle hem de biçimler sonrasında elle yapılmıştır. Biçimler bütün parsellerde çiçeklenme başlangıcında yapılmıştır. Nane genotiplerinin tarımsal ve kalite özelliklerinin belirlenmesinde çiçeklenme başlangıcında hasat edilen bitkilerdeki ölçümler; Ceylan (1978), Özel vd. (1997), İpek (2007) tarafından yapılan çalışmalardan yararlanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, bitki boyları her parselden tesadüfi olarak seçilen 10 bitkide, toprak yüzeyinden bitkinin en uç noktasına kadar olan yükseklik (cm) ölçülmüş, yeşil herba verimi, toplam drog herba verimi (kg/da) hassas terazi ile tartılarak hesaplanmıştır. Kuru madde yeşil

herbadan alınan 500 g'lık örnekler kurutma dolabında sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulup tartılmış ve yüzde oran olarak belirlenmiştir. Uçucu yağ oranları (%) ve uçucu yağ verimi (l/da) hesaplanmıştır. Elde edilen veriler Bölünen Bölünmüş Parseller deneme desenine göre TARİST paket programında değerlendirilmiştir (Açıköz vd., 1994).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Farklı azot ve fosfor dozları kullanılarak 2021 ve 2022 yıllarında denemeye alınan nane tür ve tipleri bitki boyu ve uçucu yağ oranı arasındaki farklılıklar önemli bulunmuştur (p<0,05). Ayrıca, yeşil herba, drog herba ve uçucu yağ verimi arasındaki farklılıklar da önemli bulunmuştur (p<0,01).

Bitki Boyu

Yıllara göre farklı azot ve fosfor dozları uygulanan nanelerden elde edilen bitki boyu değerleri ve ortalamaları Tablo 1'de verilmiştir.

Deneme faktör ortalamasına göre 2021 yılında nane genotiplerinin bitki boyu sırasıyla 48,32 cm, 53,01 cm ve 46,96 cm, 2022 yılında sırasıyla 60,54 cm, 59,27 cm ve 53,50 cm olmuştur (Tablo 1). Yıllar arasındaki bu farklılık (p<0,01) önemlidir. Denemenin ikinci yılında nane genotiplerindeki bitki boyunun birinci yıla göre daha uzun olması 2022 yılındaki yağışın fazla ve sıcaklığın düşük olmasından kaynaklanabilir. Bu bulgular, Tuğay vd. (2000) tarafından bildirilen sonuçlarla da benzerlik göstermektedir. 2022 yılında ve yıllar ortalamasında azot dozları arttıkça bitki boyunda artış olmuştur. Araştırmada; dekara 0, 4 ve 8 kg azot uygulanan nane genotiplerinin ortalama bitki boyları iki yılın ortalaması sırasıyla 54,43 cm, 56,14 cm ve 53,60 cm olmuştur. Denemede bitki boyu genellikle 4 kg'lık azot dozuna kadar artış göstermiş, bu dozdan sonra azalmıştır (Tablo 1). Bitki boyu olarak en yüksek değer *M. piperita*'da kg azot 3 kg fosfor uygulamasından elde edilmiştir. Bu sonuçlar Kothari & Singh (1995) ve Ram & Kumar (1997) tarafından rapor edilen bulgular ile de benzerlik göstermektedir.

Table 1. Plant heights of mint genotypes (cm)**Tablo 1.** Nane genotiplerinin bitki boyları (cm)

Azot Dozu (kg/da)	Fosfor Dozu (kg/da)	<i>Mentha piperita</i> L. var Mitcham			<i>Mentha piperita</i>			<i>Mentha spicata</i>			Ort.
		2021	2022	Ort.	2021	2022	Ort.	2021	2022	Ort.	
0	0	41,5	55,4	48,45	48,7	52,6	50,65	43,6	45,8	44,70	47,93
	3	47,7	56,8	52,25	49,8	56,4	53,10	44,3	49,2	46,75	50,70
	6	53,1	59,6	56,35	53,9	55,8	54,85	46,9	52,5	49,70	53,63
	Ort.	47,43	57,27	52,35	50,80	54,93	52,87	44,93	49,17	47,05	50,76
4	0	46,7	63,8	55,25	53,8	61,6	57,70	51,3	52	51,65	54,87
	3	47,5	64,6	56,05	55,3	67,3	61,30	51,5	54,2	52,85	56,73
	6	55,5	67,5	61,50	56,9	64,2	60,55	50,1	52,8	51,45	57,83
	Ort.	49,90	65,30	57,60	55,33	64,37	59,85	50,97	53,00	51,98	56,48
8	0	44,7	59,8	52,25	47,5	54,1	50,80	43,9	56,1	50,00	51,02
	3	45,9	60,2	53,05	55,1	60	57,55	46,6	60,6	53,60	54,73
	6	52,3	57,2	54,75	56,1	61,4	58,75	44,4	58,3	51,35	54,95
	Ort.	47,63	59,07	53,35	52,90	58,50	55,70	44,97	58,33	51,65	53,57
Ort	0	44,30	59,67	51,98	50,00	56,10	53,05	46,27	51,30	48,78	51,27
	3	47,03	60,53	53,78	53,40	61,23	57,32	47,47	54,67	51,07	54,06
	6	53,63	61,43	57,53	55,63	60,47	58,05	47,13	54,53	50,83	55,47
	Ort.	48,32	60,54	54,43	53,01	59,27	56,14	46,96	53,50	50,23	53,60

Not: *Büyük harfler 0,01, küçük harfle 0,05 önem seviyesini göstermektedir.

Table 2. Variance analysis results of plant height values of mint genotypes**Tablo 2.** Nane genotiplerinin bitki boyu değerlerine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	SD	F Değerleri		Yıllar Arası F Değerleri
		2021	2022	
Yıl	1			1118,422**
Azot	2	1,623	16,658**	11,179**
Fosfor	2	0,849	0,715	0,266
Genotipler	2	6,683**	23,475**	25,987**
Azot×Fosfor	4	0,309	0,989	0,826
Azot×Genotip	4	0,313	5,024**	3,344*
Fosfor×Genotip	4	1,475	0,658	1,466
Azot×Fosfor×Genotip	8	0,556	1,722	1,244
Yıl×Azot×Fosfor×Genotip	8			1,298
Hata 1	54			
Hata 2	108			

Not: *İşaretili F değerleri 0,05, ** işaretili F değerleri ise 0,01 önem seviyesidir.

Genotiplerin bitki boyları üzerinde fosfor dozlarının meydana getirdiği etki hem deneme yıllarında hem de yıllar ortalamasında önemli olmamıştır.

Yeşil Herba Verimi (kg/da)

Nane genotiplerinin dekara yeşil herba verimine ait ortalama değerler Tablo 2’de verilmiştir. Çalışmada 2022 yılında ele alınan nane genotiplerinin yeşil herba verimi, birinci yıla göre daha yüksek verimde olup farklılık istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$). Yıllar arasındaki bu farklılık birinci deneme yılında birim alandaki bitki sayısının az olması (Telci, 2001), ikinci deneme yılında nane genotiplerinin birinci yıla göre daha fazla sürgün ve gövde oluşturmamasından ileri gelmektedir (Özgüven &

Kırcı, 1999; Telci, 2001). Araştırmada her iki yıl için de yıllar ortalamasında azot dozlarının yeşil herba verimine etkisi önemli bulunmuştur ($p<0,01$). Her iki yılda ve yıllar ortalamasında artan azot dozu ile birlikte yeşil herba verimi de benzer olarak artmıştır (Tablo 3). Sonuç olarak deneme yıllarında dekara 0, 4 ve 8 kg azot uygulanan nane genotiplerinin yeşil herba verimleri iki yılın ortalaması sırasıyla 1672,7 kg, 1733,1 kg ve 1733,0 kg olmuştur. Deneme sonuçlarına göre, azot dozları arttıkça yeşil herba veriminde de artış meydana gelmiştir. Bu sonuçlar Malik vd. (2011) tarafından bildirilen bulgular ile de paralellik göstermektedir. Fosfor dozlarının genotiplerin dekara yeşil herba verimi üzerine etkisi 2022 yılında ve yıllar ortalamasında önemli ($p<0,05$) 2021 yılında ise önemsiz olmuştur.

Table 3. Green herb yields of mint genotypes (kg/da)

Tablo.3. Nane genotiplerinin yeşil herba verimleri (kg/da)

Azot Dozu (kg/da)	Fosfor Dozu (kg/da)	<i>Mentha piperita</i> L. var Mitcham			<i>Mentha piperita</i>			<i>Mentha spicata</i>			Ort.
		2021	2022	Ort.	2021	2022	Ort.	2021	2022	Ort.	
0	0	957	1665	1311	1318	1622	1470	1210	1436	1323	1368,2
	3	1040	1706	1373	1542	2048	1795	1237	1832	1534	1567,3
	6	1148	1923	1536	1569	1944	1757	1309	1798	1554	1615,2
	Ort.	1048	1765	1407	1476	1871	1674	1252	1688	1470	1516,9
4	0	968	2193	1580	1431	1784	1608	1690	1984	1837	1675,0
	3	1033	2382	1708	1623	2273	1948	1780	2012	1896	1850,5
	6	1290	2634	1962	1604	1975	1790	1763	1965	1864	1872,0
	Ort.	1097	2403	1750	1553	2011	1782	1745	1987	1866	1799,2
8	0	1681	2103	1892	1506	1746	1626	1230	2015	1622	1713,3
	3	1690	2112	1901	1679	1995	1837	1507	2098	1803	1847,0
	6	1576	2007	1792	1603	1934	1768	1831	2498	2164	1908,1
	Ort.	1649	2074	1862	1596	1892	1744	1523	2204	1863	1822,8
Ort	0	1202	1987	1595	1418	1717	1568	1377	1811	1594	1585,5
	3	1254	2067	1660	1615	2106	1860	1508	1981	1744	1754,9
	6	1338	2188	1763	1592	1951	1771	1634	2087	1861	1798,4
	Ort.	1264,7	2080,7	1672,7	1541,7	1924,6	1733,1	1506,5	1959,6	1733,0	1713,0

Not: *Büyük harfler 0,01, küçük harfle 0,05 önem seviyesini göstermektedir.

Table 4. Variance analysis results of green herb yields of mint genotypes**Tablo 4. Nane genotiplerinin yeşil herba verimlerine ait varyans analiz sonuçları**

Varyasyon Kaynakları	SD	F Değerleri		Yıllar Arası F Değerleri
		2021	2022	
Yıl	1			938,223**
Azot	2	5,538**	6,327**	10,766**
Fosfor	2	0,219	3,328*	3,054*
Genotipler	2	7,949**	1,936	0,352
Azot×Fosfor	4	0,526	0,518	0,749
Azot×Genotip	4	0,532	1,337	0,885
Fosfor×Genotip	4	0,825	1,325	1,815
Azot×Fosfor×Genotip	8	1,637	0,972	0,377
Yıl×Azot×Fosfor×Genotip	8			
Hata 1	54			
Hata 2	108			

Not: *İşaretili F değerleri 0,05, ** işaretili F değerleri ise 0,01 önem seviyesidir.

2021 yılında fosfor dozlarının artışına paralel olarak dekara yeşil herba veriminde düzenli bir artış meydana gelmemiş, 2022 yılında ve yıllar ortalamasında ise düzenli bir artış olmuştur. Denemede kullanılan genotiplerin dekara yeşil herba verimleri arasında sadece 2021 yılında farklılık önemli bulunmuştur ($p<0,01$). 2022 yılında en yüksek yeşil herba verimi *M. piperita* L. Mitcham'da 4 kg azot ve 6 kg fosfor verilen uygulamada (2634 kg/da) belirlenmiş, bunu *M. spicata*'da 8 kg azot ve 6 kg fosfor verilen uygulama (2498 kg/da) takip etmiştir. Yıllar ortalamasına bakıldığında yeşil herba verimi açısından en iyi sonuç *M. spicata*'da 8 kg/da azot ve 6 kg/da fosfor uygulamasından elde edilmiştir. Genotipler arasındaki yeşil herba verimindeki farklılık genetik yapıdan kaynaklanabileceği gibi uygulanan kültürel işlemlerden de kaynaklanabilir. Deneme yıllarında genotiplerin dekara yeşil herba verimlerindeki artış ve azalışlar yıl × genotip interaksiyonunun önemli çıkmasına sebep olmuştur ($p<0,01$).

Drog Herba Verimi (kg/da)

Nane genotiplerinin dekara drog herba verimine ait ortalama değerler Tablo 5'te verilmiştir. Çalışmada 2022 yılında nane genotiplerinin drog herba verimi, 2021 yılına göre daha yüksek olmuş ve farklılık istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$) (Tablo 3). Yıllar arasındaki bu farklılık denemenin ilk yılında

parseldeki bitki sayısının az olması (Telci, 2001), ikinci yılda nane genotiplerinin ilki yıla göre daha fazla sürgün ve gövde oluşturmamasından ileri gelmektedir (Özgüven & Kırıcı, 1999; Telci, 2001).

Çalışmada 2021, 2022 ve her iki yılın ortalamaları azot dozlarına göre dekara drog herba veriminde önemli farklılık bulunmuştur ($p<0,01$) (Tablo 5). Her iki deneme yılında ve yıllar ortalamasında artan azot dozu ile birlikte drog herba verimi de artmıştır (Tablo 5). Araştırmada elde edilen veriler değerlendirildiğinde, azot dozları arttıkça drog herba veriminde de artış meydana geldiği gözlenmiştir. Bu sonuçlar, Malik vd. (2011) tarafından bildirilen bulgular ile paralellik göstermektedir. Fosfor dozlarının genotiplerin dekara drog herba verimi üzerine etkisi 2022 yılında ve yıllar ortalamasında önemli iken ($p<0,05$), 2021 yılında ise önemsiz olmuştur (Tablo 5). Çalışmada 2021 yılında fosfor dozlarının artışına paralel olarak dekara drog herba veriminde düzenli bir artış meydana gelmemiş, 2022 yılında ve yıllar ortalamasında ise istikrarlı bir artış olmuştur. Drog herba verimleri arasında sadece 2021 yılında farklılık meydana gelmiştir ($p<0,01$). 2021 yılında en yüksek drog herba verimi 773 kg/da ile *M. spicata*'da 8 kg azot ve 6 kg fosfor uygulanan parsellerden elde edilmiştir. Yıllar ortalamasına bakıldığında drog herba verimi açısından en iyi sonuç *M. spicata*'da 8 kg/da azot ve 6 kg/da fosfor uygulamasından elde edilmiştir.

Genotipler arasındaki drog herba verimindeki farklılık genetik yapıdan kaynaklanabileceği gibi uygulanan kültürel işlemlerden de kaynaklanabilir. Genotiplerin dekara drog herba verimlerindeki artış ve azalışlar yıl × genotip interaksyonunun önemli çıkmasına neden olmuştur ($p<0,01$) (Tablo 5, Tablo 6).

Kuru Madde Oranı (%)

Kuru madde oranlarına ait ortalama değerler Tablo 7'de, ilgili varyans analiz sonuçları ise Tablo 8'de verilmiştir. Denemede yıllar arasında nanenin kuru madde oranları arasında önemli farklılık bulunmuştur ($p<0,01$) (Tablo 7). Kuru madde oranı, 2021 yılında, 2022 yılından daha yüksek kuru maddeye sahip olmuştur (Tablo 7). Azot dozlarının nanenin kuru madde oranı üzerine etkisi hem deneme yıllarında hem de yıllar ortalamasında önemli olmuştur ($p<0,01$) (Tablo 8).

Deneme yıllarında azot dozlarının artışına paralel olarak kuru madde oranında artış olmuş, yıllar ortalamasında benzer sonuç elde edilmiştir (Tablo 7). Denemeden elde edilen sonuçlar Nelson vd. (1971) tarafından bildirilen bulgular ile benzerlik göstermektedir. Denemede uygulanan fosfor dozlarının kuru madde oranı üzerine hem deneme yıllarında hem de yıllar ortalamasında önemli bir etkisi olmamıştır (Tablo 8). Dekara 0, 3 ve 6 kg fosfor uygulanan nane genotiplerinin ortalama kuru madde oranları 2021 yılında 2022 yılına göre daha yüksek olmuştur (Tablo 7). Yıllar ortalamasına bakıldığında kuru madde açısından en iyi sonuç *M. spicata*'da 8 kg/da azot ve 6 kg/da fosfor uygulamasından elde edilmiştir. Genotiplerin kuru madde oranlarında; 2022 yılında ve yıllar ortalamasında istatistiki olarak anlamlı farklılık tespit edilmiş ($p<0,05$), 2021 yılında ise farklılık olmamıştır (Tablo 8).

Table 5. Drug herb yields of mint genotypes (kg/da)

Tablo 5. Nane genotiplerinin drog herba verimleri (kg/da)

Azot Dozu (kg/da)	Fosfor Dozu (kg/da)	<i>Mentha piperita</i> L. var Mitcham			<i>Mentha piperita</i>			<i>Mentha spicata</i>			Ort.
		2021	2022	Ort.	2021	2022	Ort.	2021	2022	Ort.	
0	0	263	268	265	362	261	311	231	333	282	286,1
	3	286	274	280	424	329	376	294	340	317	324,4
	6	275	344	310	431	312	372	289	360	324	335,3
	Ort.	275	295	285	406	301	353	271	344	308	315,3
4	0	266	347	306	393	282	338	314	465	389	344,3
	3	284	377	330	406	359	383	318	489	404	372,1
	6	354	417	385	441	312	377	311	505	408	389,9
	Ort.	301	380	341	413	318	366	314	486	400	368,8
8	0	342	327	335	268	271	270	313	520	416	340,3
	3	346	328	337	341	310	326	326	636	481	381,4
	6	270	335	303	351	335	343	389	773	581	408,8
	Ort.	319	330	325	320	306	313	343	643	493	376,8
Ort	0	290	314	302	341	271	306	286	439	362	323,6
	3	305	326	316	390	333	362	313	488	401	359,3
	6	300	365	333	408	320	364	329	546	438	378,0
	Ort.	298,5	335,1	316,8	379,7	308,0	343,9	309,3	491,1	400,2	353,6

Not: *Büyük harfler 0,01, küçük harfle 0,05 önem seviyesini göstermektedir.

Table 6. Variance analysis results of drug herb yields of mint genotypes**Tablo 6.** Nane genotiplerinin drog herba verimlerine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	SD	F Değerleri		Yıllar Arası F Değerleri
		2021	2022	
Yıl	1			866,028**
Azot	2	7,244**	5,748**	10,566**
Fosfor	2	0,278	3,122*	3,271*
Genotipler	2	7,618**	0,642	1,256
Azot×Fosfor	4	0,575	0,758	1,113
Azot×Genotip	4	0,562	1,517	1,286
Fosfor×Genotip	4	0,936	0,426	0,313
Azot×Fosfor×Genotip	8	1,609	0,971	1,676
Yıl×Azot×Fosfor×Genotip	8			0,478
Hata 1	54			
Hata 2	108			

Not: *İşaretili F değerleri 0,05, ** işaretili F değerleri ise 0,01 önem seviyesidir.

Table 7. Dry matter content of mint genotypes (%)**Tablo 7.** Nane genotiplerinin kuru madde oranı (%)

Azot Dozu (kg/da)	Fosfor Dozu (kg/da)	<i>Mentha piperita</i> L. var Mitcham			<i>Mentha piperita</i>			<i>Mentha spicata</i>			Ort.
		2021	2022	Ort.	2021	2022	Ort.	2021	2022	Ort.	
0	0	20,02	20,36	20,19	22,58	19,83	21,21	24,74	17,16	20,95	20,78
	3	21,74	20,85	21,30	28,25	25,05	26,65	25,29	21,89	23,59	23,85
	6	20,93	26,21	23,57	27,82	23,77	25,80	26,78	21,49	24,14	24,50
	Ort.	20,90	22,47	21,69	26,22	22,88	24,55	25,60	20,18	22,89	23,04
4	0	20,13	26,23	23,18	25,27	21,72	23,50	32,37	23,20	27,79	24,82
	3	21,49	28,49	24,99	29,24	27,66	28,45	34,19	23,52	28,86	27,43
	6	26,82	31,52	29,17	28,94	24,04	26,49	35,34	22,98	29,16	28,27
	Ort.	22,81	28,75	25,78	27,82	24,47	26,15	33,97	23,23	28,60	26,84
8	0	25,30	24,47	24,89	32,20	20,78	26,49	33,42	22,93	28,18	26,52
	3	28,60	29,57	29,09	34,25	23,75	29,00	34,93	23,88	29,41	29,16
	6	23,21	25,07	24,14	33,21	25,64	29,43	37,87	30,08	33,98	29,18
	Ort.	25,70	26,37	26,04	33,22	23,39	28,31	35,41	25,63	30,52	28,29
Ort	0	21,82	23,69	22,75	26,68	20,78	23,73	30,18	21,10	25,64	24,04
	3	23,94	26,30	25,12	30,58	25,49	28,03	31,47	23,10	27,28	26,81
	6	23,65	27,60	25,63	29,99	24,48	27,24	33,33	24,85	29,09	27,32
	Ort.	23,14	25,86	24,50	29,08	23,58	26,33	31,66	23,01	27,34	26,06

Not: *Büyük harfler 0,01, küçük harfle 0,05 önem seviyesini göstermektedir.

Table 8. Variance analysis results of dry matter ratios of mint genotypes**Tablo 8.** Nane genotiplerinin kuru madde oranlarına ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	SD	F Değerleri		Yıllar Arası F Değerleri
		2021	2022	
Yıl	1			111,033**
Azot	2	15,342**	12,021**	1,588
Fosfor	2	1,765	1,065	0,767
Genotipler	2	1,062	3,571*	3,488*
Azot×Fosfor	4	0,056	2,312	0,945
Azot×Genotip	4	0,628	1,439	1,486
Fosfor×Genotip	4	0,279	0,346	0,127
Azot×Fosfor×Genotip	8	0,395	0,108	0,348
Yıl×Azot×Fosfor×Genotip	8			0,266
Hata 1	54			
Hata 2	108			

Not: *İşaretli F değerleri 0,05, ** işaretli F değerleri ise 0,01 önem seviyesidir.

Uçucu Yağ Oranı (%)

Çalışmada uçucu yağ oranlarına ait ortalama değerler Tablo 9'da varyans analiz sonuçları ise Tablo 10'da verilmiştir. Çalışmada 2021 yılında uçucu yağ oranı *M. piperita* L. Mitcham'da %2,60 iken *M. piperita*'da %2,65 ve *M. spicata*'da %3,28, 2022 yılında ise sırasıyla %2,47, %2,29 ve %2,86 olarak gerçekleşmiştir (Tablo 9). Uçucu yağ oranının 2022'de 2021'den düşük olması, toplam sıcaklığın düşük olması ve yağışı miktarından kaynaklanabilir. Yapılan çalışmalarda, Ceylan (1983) ve Telci (2001) sıcaklıkla birlikte artan ışık şiddetinin uçucu yağ oranını artırdığını, ayrıca Kokkini vd. (1995) ve Telci (2001) yetiştirme mevsimi içinde meydana gelen yağışlarla yapraklardaki uçucu yağların yıkandığını bildirmektedir. Çalışma sonuçları diğer araştırmalarda elde edilen değerlerle paralellik göstermektedir.

Genotiplerin uçucu yağ oranı üzerine azot dozlarının etkisi denemenin 2021 ve yıllar ortalamasında önemli iken ($p<0,01$), 2022 yılında ise önemli bulunmuştur ($p<0,05$) (Tablo 10). Uçucu yağ oranı hem deneme yıllarında hem de yıllar

ortalamasında dekara 0 ve 8 kg azot dozuna göre, dekara 4 kg azot dozunda fazla bulunmuştur. Yıllar ortalamasına bakıldığında uçucu yağ oranına açısından en iyi sonuç *M. spicata*'da 4 kg/da azot ve 3 kg/da fosfor uygulamasından elde edilmiştir. (Tablo 9). Sonuçlar değerlendirildiğinde azotlu gübrelemenin nane de uçucu yağ oranını artırdığını belirten araştırmacıların bulguları ile benzerlik göstermektedir (Mahmoud & Croteau, 2003; Abbass, 2009; Zheljzakov vd., 2010; Anwar vd., 2010). Fosfor uygulamasının uçucu yağ oranına 2021 ve 2022 yıllarında önemli olurken ($p<0,05$), iki yılın ortalamasında da yine istatistiki olarak önemli olmuştur ($p<0,01$) (Tablo 10). Fosfor uygulanan nane genotiplerinin ortalama uçucu yağ oranları, 2021 yılında, 2022 yılına göre yüksek seviyede gerçekleşmiştir (Tablo 9).

Genotiplerin uçucu yağ oranları arasında hem deneme yıllarında hem de yıllar ortalamaları arasındaki farklılık önemli olmuştur ($p<0,01$) (Tablo 10). Genotiplerin uçucu yağ oranları arasındaki bu farklılık genetik yapılarından kaynaklanmaktadır (Kokkini, 1992).

Table 9. Essential oil content of mint genotypes (%)**Tablo 9.** Nane genotiplerinin uçucu yağ oranları (%)

Azot Dozu (kg/da)	Fosfor Dozu (kg/da)	<i>Mentha piperita</i> L. var Mitcham			<i>Mentha piperita</i>			<i>Mentha spicata</i>			Ort.
		2021	2022	Ort.	2021	2022	Ort.	2021	2022	Ort.	
0	0	2,26	2,36	2,31	2,06	2,24	2,15	2,16	2,08	2,12	2,19
	3	2,34	2,41	2,38	2,88	2,56	2,72	2,88	2,96	2,92	2,67
	6	2,41	2,26	2,34	2,29	2,14	2,22	2,68	2,44	2,56	2,37
	Ort.	2,34	2,34	2,34	2,41	2,31	2,36	2,57	2,49	2,53	2,41
4	0	2,49	2,14	2,32	2,65	1,81	2,23	3,85	2,73	3,29	2,61
	3	2,76	2,56	2,66	2,98	2,81	2,90	4,20	3,31	3,76	3,10
	6	2,61	2,28	2,45	2,78	2,26	2,52	3,35	3,26	3,31	2,76
	Ort.	2,62	2,33	2,47	2,80	2,29	2,55	3,80	3,10	3,45	2,82
8	0	2,36	2,36	2,36	2,56	2,16	2,36	3,01	2,76	2,89	2,54
	3	3,50	3,18	3,34	2,91	2,39	2,65	3,98	3,31	3,65	3,21
	6	2,71	2,69	2,70	2,78	2,26	2,52	3,45	2,85	3,15	2,79
	Ort.	2,86	2,74	2,80	2,75	2,27	2,51	3,48	2,97	3,23	2,85
Ort	0	2,37	2,29	2,33	2,42	2,07	2,25	3,01	2,52	2,77	2,45
	3	2,87	2,72	2,79	2,92	2,59	2,76	3,69	3,19	3,44	3,00
	6	2,58	2,41	2,49	2,62	2,22	2,42	3,16	2,85	3,01	2,64
	Ort.	2,60	2,47	2,54	2,65	2,29	2,47	3,28	2,86	3,07	2,69

Not: *Büyük harfler 0,01, küçük harfle 0,05 önem seviyesini göstermektedir.

Table 10. Variance analysis results of essential oil ratios of mint genotypes**Tablo 10.** Nane genotiplerinin uçucu yağ oranlarına ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	SD	F Değerleri		Yıllar Arası F Değerleri
		2021	2022	
Yıl	1			19,544**
Azot	2	7,412**	4,309*	8,098**
Fosfor	2	3,987*	4,032*	5,114**
Genotipler	2	6,128**	4,947**	10,788*
Azot×Fosfor	4	0,547	1,918	0,601
Azot×Genotip	4	0,748	1,246	1,733
Fosfor×Genotip	4	0,488	0,321	0,197
Azot×Fosfor×Genotip	8	0,786	0,705	1,128
Yıl×Azot×Fosfor×Genotip	8			0,402
Hata 1	54			
Hata 2	108			

Not: *İşaretili F değerleri 0,05, ** işaretili F değerleri ise 0,01 önem seviyesidir.

Uçucu Yağ Verimi (l/da)

Çalışmada elde edilen uçucu yağ verimlerine ait ortalamalar Tablo 11’de, bunlara ait varyans analiz sonuçları Tablo 12’de sunulmuştur. Çalışma yılları arasında uçucu yağ verimlerinde farklılık önemli bulunmuştur ($p<0,01$). 2021 yılında uçucu yağ verimi, 2022 yılına göre düşük kalmıştır. 2022 yılında uçucu yağ veriminin yüksek olması bu yıldaki drog herba veriminin fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Uçucu yağ veriminin hem deneme yıllarında hem de yıllar ortalamasında dekara 4 kg’lık azot dozunda daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu dozu dekara 8 kg’lık azot dozu ve kontrol takip etmiştir (Tablo 11). Bu sonuçlar nanede azotlu gübrelemenin belirli bir doza kadar uçucu yağ verimini artırdığını belirten

araştırmacıların bulguları ile benzerlik göstermektedir (Mahmoud & Croteau, 2003).

Denemede uygulanan fosfor dozlarının, uçucu yağ verimleri üzerine etkisi 2022 yılında ve yıllar ortalamasında önemli ($p<0,05$), 2021 yılında ise önemsiz bulunmuştur (Tablo 12).

En fazla uçucu yağ verimi 4 kg azot ve 3 kg’lık fosfor dozunda (5,95 l/da, 5,55 l/da ve 5,80 l/da) belirlenmiş, bu dozu 6 kg’lık doz (5,60 l/da, 5,25 l/da ve 5,50 l/da) takip etmiştir (Tablo 11). Bu sonuçlar gübre uygulamasının tıbbi ve aromatik bitkilerde yeşil herba verimini artırdığı için uçucu yağ veriminin de arttığını belirten Malik vd. (2011) tarafından da desteklenmektedir.

Table 11. Essential oil yields of mint genotypes (l/da)

Tablo 11. Nane genotiplerinin uçucu yağ verimleri (l/da)

Azot Dozu (kg/da)	Fosfor Dozu (kg/da)	<i>Mentha piperita</i> L. var Mitcham			<i>Mentha piperita</i>			<i>Mentha spicata</i>			Ort.
		2021	2022	Ort.	2021	2022	Ort.	2021	2022	Ort.	
0	0	4,20	4,40	4,30	4,80	5,10	4,95	4,60	4,90	4,75	4,67
	3	5,50	5,80	5,65	5,60	6,00	5,80	4,80	5,10	4,95	5,47
	6	5,80	6,10	5,95	4,80	5,00	4,90	4,50	4,90	4,70	5,18
	Ort.	5,17	5,43	5,30	5,07	5,37	5,22	4,63	4,97	4,80	5,11
4	0	4,70	5,00	4,85	4,40	4,70	4,55	4,60	4,90	4,75	4,72
	3	5,80	6,10	5,95	5,40	5,70	5,55	5,60	6,00	5,80	5,77
	6	5,50	5,70	5,60	5,10	5,40	5,25	5,30	5,70	5,50	5,45
	Ort.	5,33	5,60	5,47	4,97	5,27	5,12	5,17	5,53	5,35	5,31
8	0	4,00	4,20	4,10	3,70	3,90	3,80	3,90	4,20	4,05	3,98
	3	4,60	4,90	4,75	4,30	4,50	4,40	4,50	4,80	4,65	4,60
	6	5,00	5,20	5,10	4,60	4,90	4,75	4,80	5,20	5,00	4,95
	Ort.	4,53	4,77	4,65	4,20	4,43	4,32	4,40	4,73	4,57	4,51
Ort	0	4,30	4,53	4,42	4,30	4,57	4,43	4,37	4,67	4,52	4,46
	3	5,30	5,60	5,45	5,10	5,40	5,25	4,97	5,30	5,13	5,28
	6	5,43	5,67	5,55	4,83	5,10	4,97	4,87	5,27	5,07	5,19
	Ort.	5,01	5,27	5,14	4,74	5,02	4,88	4,73	5,08	4,91	4,98

Not: *Büyük harfler 0,01, küçük harfle 0,05 önem seviyesini göstermektedir.

Table 12. Variance analysis results of essential oil yields of mint genotypes**Tablo 12.** Nane genotiplerinin uçucu yağ verimlerine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	SD	F Değerleri		Yıllar Arası F Değerleri
		2021	2022	
Yıl	1			313,422**
Azot	2	9,120**	2,358	6,588**
Fosfor	2	0,168	3,146*	3,213*
Genotipler	2	6,928**	3,598*	5,841**
Azot×Fosfor	4	1,340	1,088	0,867
Azot×Genotip	4	0,819	1,581	1,927
Fosfor×Genotip	4	0,628	0,696	0,266
Azot×Fosfor×Genotip	8	1,955	1,023	1,968
Yıl×Azot×Fosfor×Genotip	8			0,488
Hata 1	54			
Hata 2	108			

Not: *İşaretleli F değerleri 0,05, ** işaretleli F değerleri ise 0,01 önem seviyesidir.

Nane genotiplerinin uçucu yağ verimleri 2021 yılında ($p<0,01$), 2022 yılında ($p<0,05$) ve yıllar ortalamasında ($p<0,01$) önemli bulunmuştur (Tablo 12). Her iki yılda da ve yıllar ortalamasında en fazla uçucu yağ verimi *M. piperita* L. var Mitcham'de (5,8 l/da ve 6,1 l/da) belirlenmiştir (Tablo 11). Tüm bu bulgular aromatik bitkilerde uçucu yağ miktarının çevresel faktörlere, bitkinin genetik yapısına ve yetiştirme tekniklerine bağlı olduğunu belirten araştırmacıların bulguları ile uyumludur (Sangwan vd., 2001; Figueiredo vd., 2008).

SONUÇ

Azotun ve fosforun farklı dozlarının, nane genotipleri üzerinde yürütülen çalışmada tarımsal karakterleri ve uçucu yağ oranlarına olan etkilerini iki yıl süreyle araştırılmıştır. İncelenen karakterlerde yıllar arasındaki farklılıklar önemli bulunmuştur. Çalışmanın ilk yılında bitki boyu ve uçucu yağ oranları, ikinci yıldan daha düşük olmuştur. Araştırmanın ikinci yılında; yeşil herba verimi, drog herba verimi, kuru madde oranı ve uçucu yağ verimi, birinci yıldan fazla olmuştur. Denemede bitki boyu genellikle 4 kg'lık azot dozunun kullanıldığı parsellerde artış göstermiş, bu dozun üzerindeki uygulamalarda azalmıştır. Bitki boyu olarak en yüksek değer *M. piperita*'da kg azot 3 kg fosfor uygulamasından elde edilmiştir. Dekara 0, 4 ve 8 kg azot dozları uygulamalarında; dekara 4 kg'lık azot

uygulanmasında bitki boyu, yeşil herba verimi, drog herba verimi, kuru madde oranı, kontrol ve 8 kg/da N uygulamasına göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Azot dozları arttıkça yeşil herba veriminde de artış meydana gelmiş ve yıllar ortalamasına bakıldığında yeşil herba verimi, drog herba verimi ve kuru madde açısından en iyi sonuçlar *M. spicata*'da 4 kg/da azot ve 6 kg/da fosfor uygulamasından elde edilmiştir. Yıllar ortalamasına bakıldığında uçucu yağ oranı açısından en iyi sonuç *M. spicata*'da 4 kg/da azot ve 3 kg/da fosfor uygulamasından elde edilmiştir. En fazla uçucu yağ verimi 4 kg azot ve 3 kg'lık fosfor dozunda (*M. piperita* L. Mitcham 5,95 l/da, *M. piperita* 5,55 l/da ve *M. spicata* 5,80 l/da) belirlenmiştir. Sonuç olarak; Çanakkale koşullarında *M. spicata* tipi nane için en yüksek uçucu yağ veriminin alındığı 4 kg/da azot 3 kg/da fosfor dozunda gübre kullanılarak üretilmesinin uygun olacağı ve alternatif olarak da *M. piperita* L. Mitcham tipi nanenin yer alabileceği belirlenmiştir.

Etik Standartlara Uygunluk

Çıkar Çatışması

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını deklare etmektedir.

Etik Onay

Yazar bu çalışma için resmi etik kurul onayının gerekli olmadığını bildirmektedir.

Finansal Destek

Yazarbu çalışma için herhangi bir finansal destek almadıklarını bildirmektedir.

Veri Kullanılabilirliği

Yazar, bu çalışmanın bulgularını destekleyen verilerin makale içinde mevcut olduğunu onaylamaktadır.

Yapay Zeka Açıklaması

Yazar, bu makalenin yazımında veya görsel, tablo veya şekillerin oluşturulmasında hiçbir üretken yapay zekanın kullanılmadığını teyit etmektedirler.

KAYNAKLAR

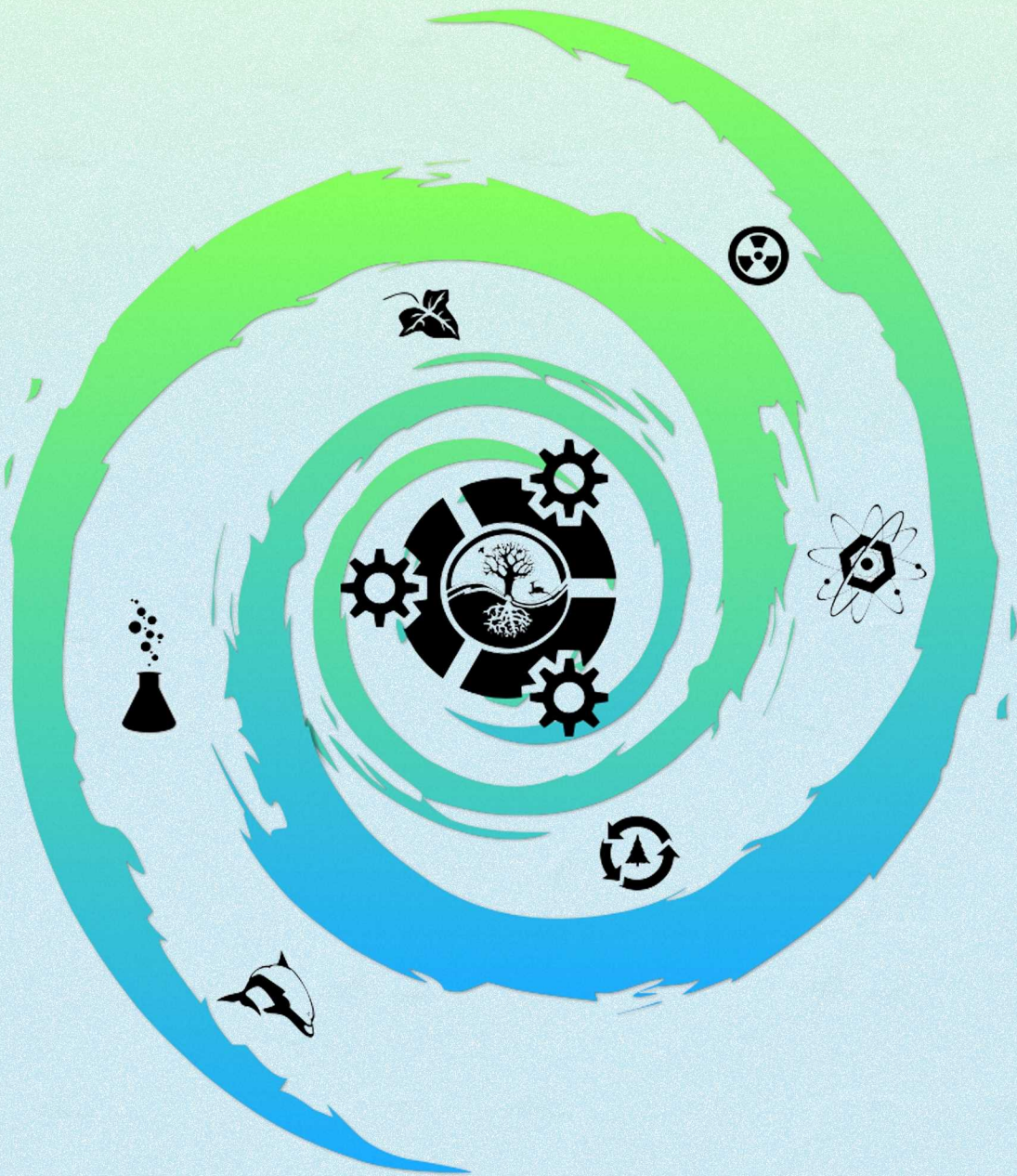
- Abbass, A. J. (2009). The effect of nitrogenous and phosphate fertilizers of the properties on the vegetative growth and aromatical oil yield of local mint (*M. spicata* L.). *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 3(2), 262-265.
- Açıkgöz, N., Akkaş, M. E., Moghaddam, A. F., & Özcan, K. (1994). *Tarist. PC'ler için bir agro istatistik program*. Tarla Bitkileri Kongresi, İzmir, Türkiye. ss.13.
- Ahsan, S. A. (1999). Examine some of the factors influencing the quantity and quality attributes of the aromatic oils in mint, melon. [Ph.D. Thesis, The University of Baghdad].
- Alsafar, M. S., & Al-Hassan, Y. (2009). Effect of nitrogen and phosphorus fertilizers on growth and oil yield of indigenous mint (*M. longifolia* L.). *Biotechnology*, 8(3), 380-384.
- Anwar, M., Chand, S., & Patra, D. D. (2010). Effect of graded levels of NPK on fresh herb yield, oil yield and oil composition of six cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis* Linn.). *Indian Journal of Natural Products and Resources*, 1, 74-79.
- Başer, K. H. C. (1997). *İlaç ve baharat bitkilerinin ilaç ve alkollü içki sanayilerinde kullanımı* (Yayın No: 39). İstanbul Ticaret Odası Yayınları.
- Baydar, H. (2007). *Tıbbi, aromatik ve keyf bitkileri bilimi ve teknolojisi* (Genişletilmiş 2. Baskı, Yayın No: 51). Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Baylav, N. (1968). *Eczacılık tarihi*. Yörük Matbaası.
- Bayram, E., Kırıcı, S., Tansı, S., Yılmaz, G., Arabacı, O., Kızıl, S., & Telci, İ. (2010). Tıbbi ve aromatik bitkiler üretimin artırılması olanakları. *Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı*, ss. 437-456.
- Baytop, T. (1999). *Türkiye'de Bitkiler ile tedavi, geçmişte ve bugün*. (Sayı: 550). İstanbul Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayınları.
- Bhardwaj, S. D., & Kaushal, A. N. (1989). Effect of nitrogen levels and harvesting management on quality of essential oil in peppermint cultivars. *Indian Perfumer*, 33, 182-195.
- Ceylan, A. (1978). *Menemen ekolojik koşullarında M. piperita L., M. spicata L. türlerinin bazı agronomik ve teknolojik özellikleri üzerinde araştırma*. (Yayın No: 379). Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Ceylan, A. (1983). *Tıbbi bitkiler-II*. (Yayın No: 175). Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Clark, R. J., & Menary, R. C. (1980). Environmental effects on peppermint (*Mentha piperita* L.) II. Effect of temperature on photosynthesis, photorespiration and dark respiration in peppermint with reference to oil composition. *Australian Journal of Plant Physiology*, 7(6), 693-697. <https://doi.org/10.1071/PP9800693>
- Ellialtıoğlu, Ş., Sevgör, Ş., & Sezik, E. (2008). *Şanlıurfa'da nane tarımının geliştirilmesi üzerinde çalışmalar*. Kişisel Bilgi Notu. http://www.agri.ankara.edu.tr/bahce/1099_118_10_24037.pdf (Erişim tarihi: 10 Mayıs 2025)
- Faydaoğlu, E., & Sürücüoğlu, M. S. (2011). Geçmişten günümüze tıbbi ve aromatik bitkilerin kullanılması ve ekonomik önemi. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 11(1), 52-67.
- Figueiredo, A. C., Barraso, J. G., Pedro, L. G., & Scheffer, J. J. C. (2008). Factors affecting secondary metabolite production in plants: volatile components and essential oils. *Flavour and Fragrance Journal*, 23(4), 213-226. <https://doi.org/10.1002/ffj.1875>
- Franz, C., Ceylan, A., Hözl, J., & Vömel, A. (1984). Influence of the growing site on the quality *M. piperita* L. oil. *Acta Horticulturae*, 144, 145-150. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1984.144.18>

- Heeger, F. E. (1956). *Hanbuch der Arznei-und Gewürzpflanzenbones*. Dentschv Bauernverlag.
- İpek, A. (2007). Tıbbi adaçayı (*S. officinalis*) hatlarında azotlu gübrelemenin herba verimi ve bazı özellikler üzerine etkileri. [Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi].
- Kokkini, S. (1992). Essential oils taxonomic markers in *Mentha*. In R. M. Harley & T. Reynolds (Eds.), *Advances in Labiatae Science* (pp. 325-334). Royal Botanic Gardens.
- Kokkini, S., Karousou, R., & Lanaras, T. (1995). Essential oils of spearmint (Carvone rich) plants from the Island of Crete (Greece). *Biochemical Systematics and Ecology*, 23(4), 425-430. [https://doi.org/10.1016/0305-1978\(95\)00021-L](https://doi.org/10.1016/0305-1978(95)00021-L)
- Kothari, S. K., & Sing, U. B. (1995). The effect of row spacing and nitrogen fertilization on scotch spearmint (*M. gracilis* Sole). *Journal of Essential Oil*, 287-297. <https://doi.org/10.1080/10412905.1995.9698521>
- Lacy, M. L., Stephens, C. T., Green, R. J., & York, A. C. (1981). *Mint production in the midwestern United States*. North Central Region Extension Publication. No:155, 18pp.
- Maffei, M., Codignola, A., & Fieschi, M. (1986). Essential oil from *M. spicata* L. (spearmint) cultivated in Italy. *Flavour and Fragrance Journal*, 1 (3), 105-109. <https://doi.org/10.1002/ffj.2730010303>
- Mahmoud, S. S., & Croteau, R. B. (2003). Menthofuran regulates essential oil biosynthesis in peppermint by controlling a downstream monoterpene reductase. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(24), 14481-14486. <https://doi.org/10.1073/pnas.2436325100>
- Mahmoud, S. S., & Croteau, R. B. (2003). Menthofuran regulates essential oil biosynthesis in peppermint by controlling a downstream monoterpene reductase. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(24), 14481-14486. <https://doi.org/10.1073/pnas.2436325100>
- Munsi, P. S. (1992). Nitrogen and phosphorus nutrition response in Japanese mint cultivation. *Acta Horticulture Medical & Aromatic Plants*. 306 (International Symposium on Medicinal and Aromatic Plants, XXIII IHC), 58. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1992.306.58>
- Nelson, C. E., Early, R. E., & Mortensen, M. A. (1971). Effect of growing method and rate and time of nitrogen fertilization on peppermint yield and oil composition. *Washington Agricultural Experiment Station Circular*, 541, 1-17.
- Özel, A., Gür, M. A., & Özgüven, M. (1997). Harran Ovası koşullarında biçim zamanının nane (*Mentha piperita* L.)'de drog verimleri ve uçucu yağ oranlarına etkisi. *Türkiye II. Tarla Bitkileri Kongresi Bildiriler Kitabı*, Samsun, Türkiye. ss. 352-356.
- Özgüven, M., & Kırıcı, S. (1999). *Farklı ekolojilerde nane (Mentha türlerinin verim ile uçucu yağ oran ve bileşenlerinin araştırılması* [Research on yield, essential oil, contents and components of mint (*Mentha*) species in different ecologies]. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23(5), 465-472.
- Öztürk, M. (1996). *Batı Anadolu'nun Mentha türlerinin sistematiği ve ekolojisi üzerine gözlemler* (Proje No: TBAG-142). TÜBİTAK.
- Piccaglia, R., Dellacecca, V., Marotti, M., & Giovanelli, E. (1993). Agronomic factors affecting the yields and the essential oil composition of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Acta Horticulture*, 344, 29-40. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1993.344.4>
- Ram, M., & Kumar, S. (1997). Yield improvement in the regenerated and transplanted mint *Mentha arvensis* by recycling the organic wastes and manures. *Bioresource Technology*, 59(2-3), 141-149. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(96\)00159-9](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(96)00159-9)
- Sangwan, N. S., Farooqi, A. H. A., Shabih, F., & Sangwan, R. S. (2001). Regulation of essential oil production in plants. *Plant Growth Regulation*, 34, 3-21. <https://doi.org/10.1023/A:1013386921596>
- Şarer, E., Yağmur Toprak, S., Otlu, B., & Durmaz, R. (2011). Composition and antimicrobial activity of the essential oil from *Mentha spicata* L. subsp. *spicata*. *Journal of Essential Oil Research*, 23(1), 105-108. <https://doi.org/10.1080/10412905.2011.9700435>

- Saxena, A., Singh, J.N., 1995. Effect of irrigation, mulch and nitrogen on yield and composition of Japanese mint (*Mentha arvensis* L. subsp. *haplocalyx* var. *piperascens*) oil. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 175(3), 183-188. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1995.tb00209.x>
- Telci, I., Demirtas, I., Bayram, E., Arabaci, O., & Kacar, O. (2010). Environmental variation on aroma component of pulegone/piperitone rich spearmint (*Mentha spicata* L.). *Industrial Crops and Products*, 32(3), 588-592. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.07.009>
- Telci, İ. (2001). Farklı nane (*Mentha spp.*) klonlarının bazı morfolojik, tarımsal ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi üzerinde bir araştırma. [Determination of some morphological, agronomical and technological characters of different mint (*Mentha spp.*) clones]. [Doktora Tezi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi].
- Telci, İ., Bayram, E., Yılmaz, G., & Avcı, B. (2006). Variability in essential oil composition of Turkish basils (*Ocimum basilicum* L.). *Biochemical Systematics and Ecology*, 34(6), 489-497. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2006.01.009>
- Telci, I., Incekara Sahbaz N., Yılmaz, G., & Tugay, M. E. (2004). Agronomical and chemical characterization of spearmint (*Mentha spicata* L.) originating in Turkey. *Economic Botany*, 58(4), 721-728. [https://doi.org/10.1663/0013-0001\(2004\)058\[0721:AACCOS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0013-0001(2004)058[0721:AACCOS]2.0.CO;2)
- Tuğay, M. E., Kaya, N., Yılmaz, G., Telci, I., & Dönmez, E. (2000). Tokat ve çevresinde yaygın olarak bulunan bazı aromatik bitkilerin bitkisel ve teknolojik özellikleri. TOGTAG-1690 TÜBİTAK Proje Raporu.
- Üstün, Ç. (1998). Santral sinir sistemine etkili tıbbi bitkilerin tarihsel süreç içinde ve günümüz tedavisindeki yeri. [Doktora Tezi. Ege Üniversitesi].
- Weiss, E. A. (1997). *Essential oil crops*. CAB International.
- Zheljazkov, V. D., Cantrell, C. L., & Astatkie, T. (2010). Study on Japanese cornmint in Mississippi. *Agronomy Journal*, 102(2), 696-702. <https://doi.org/10.2134/agronj2009.0275>



ACTA NATURA ET SCIENTIA



e-ISSN: 2718-0638

www.actanatsci.com