



EÜ Ziraat Fakültesi Adına Sahibi (Director):

Prof. Dr. İsmail Can PAYLAN

Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dekan V.

(V. Dean, Faculty of Agriculture - Ege University)

Sorumlu Müdür (Publishing Manager)

Prof. Dr. Gülsüm ÖZTÜRK

Baş Editör (Editor- in-Chief):

Prof. Dr. Galip KAŞKAVALCI

Yardımcı Editör (Associate Editor)

Prof. Dr. Cem KARAGÖZLÜ

Yabancı Dil Editörleri (Foreign Language Editors)

Prof. Dr. Adnan DEĞİRMENCİOĞLU

Prof. Dr. Eftal DÜZYAMAN

İndeks Editörü (Index Editor)

Doç. Dr. Oktay YERLİKAYA

Teknik Editör (Technical Editor)

Doç. Dr. Çağrı KANDEMİR

ISSN 1018-8851

e-ISSN 2548-1207

Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi; SCOPUS, EBSCO Clarivate Analysis Master Journal List, Zoological Record, DOAJ, TÜBİTAK/ULAKBİM, CAB Abstracts, FAO AGRIS ve NAL Catalog (AGRICOLA) tarafından taranan hakemli bir dergidir.

The Journal of Ege University Faculty of Agriculture is abstracted and indexed in SCOPUS, EBSCO Clarivate Analysis Master Journal List, Zoological Record, DOAJ, TÜBİTAK/ULAKBİM, CAB Abstracts, FAO AGRIS and NAL Catalog (AGRICOLA).

Dergimize yaptığınız atırlarda “Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.” kısaltması kullanılmalıdır.

The title of the journal should be cited as “Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.”.

Konu Editörleri (Section Editors)

Prof. Dr. Galip KAŞKAVALCI

Prof. Dr. Pervin KINAY TEKSÜR

Prof. Dr. Zümrüt AÇIKGÖZ

Prof. Dr. Ö. Hakan BAYRAKTAR

Prof. Dr. Cem KARAGÖZLÜ

Prof. Dr. Fatma AYKUT TONK

Prof. Dr. Hakan GEREN

Doç. Dr. Arzu YAZGI

Dr. Öğr. Üyesi İkbal AYGÜN

Doç. Dr. Ali Rıza ONGUN

Doç. Dr. İpek ALTUĞ TURAN

Dr. Öğr. Üyesi Ece SALALI

Dr. Öğr. Üyesi Emrah ZEYBEKOĞLU

Dr. İlkey ALKAN

Bitki Koruma

(Plant Protection)

Zootekni

(Animal Science)

Süt Teknolojisi

(Dairy Technology)

Tarla Bitkileri

(Field Crops)

Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği

(Agricultural Machinery & Technologies)

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme

(Soil Science & Plant Nutrition)

Peyzaj Mimarlığı

(Landscape Architecture)

Tarım Ekonomisi

(Agricultural Economics)

Bahçe Bitkileri

(Horticulture)

Tarımsal Yapılar ve Sulama

(Agricultural Structures & Irrigation)

Yayın Tarihi: 18.09.2024

Yazışma Adresi

(Correspondence Address)

Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dekanlığı, 35100 Bornova, İzmir, TÜRKİYE

e-mail: ziraatbasinyayin@mail.ege.edu.tr – ziraatbasinyayin@gmail.com

Baskı: Ege Üniversitesi Basımevi Müdürlüğü, Bornova – İZMİR, T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Sertifika No: 18679



Uluslararası Yayın Kurulu (International Editorial Board)

- Meryem ATİK**, Akdeniz Üniversitesi, TÜRKİYE
- George BAURAKIS**, Mediterranean Agronomic Institute of Chania, GREECE
- Kemal BENLİOĞLU**, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, TÜRKİYE
- Süha BERBEROĞLU**, Çukurova Üniversitesi, TÜRKİYE
- Boris BILČÍK**, Slovak Academy of Sciences, SLOVAK REPUBLIC
- Vittorio CAPOZZI**, National Research Council of Italy, ITALY
- Vedat CEYHAN**, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, TÜRKİYE
- İlkay DELLAL**, Ankara Üniversitesi, TÜRKİYE
- Vedat DEMİR**, Ege Üniversitesi, TÜRKİYE
- Can ERTEKİN**, Akdeniz Üniversitesi, TÜRKİYE
- Hakan GEREN**, Ege Üniversitesi, TÜRKİYE
- Salim HIZIROĞLU**, Oklahoma State University, USA
- M. Ali KHALVATI**, Ontario Technology University, CANADA
- Figen KIRKPINAR**, Ege Üniversitesi, TÜRKİYE
- Ahmet KURUNÇ**, Akdeniz Üniversitesi, TÜRKİYE
- Monika MARKOVIC**, University of Osijek, CROATIA
- Pedro MARTINEZ-GOMEZ**, Biología Aplicada del Segura, SPAIN
- Hossein NAVID**, University of Tabriz, IRAN
- Barbaros ÖZER**, Ankara Üniversitesi, TÜRKİYE
- Sezen ÖZKAN**, Ege Üniversitesi, TÜRKİYE
- Erdoğan ÖZTÜRK**, Atatürk Üniversitesi, TÜRKİYE
- Reza Farshbaf POURABAD**, University of Tabriz, IRAN
- Ian T. RILEY**, The University of Adelaide, AUSTRALIA
- Roman ROLBIECKI**, Bydgoszcz University, POLAND
- Evangelia N. SOSSIDOU**, Veterinary Research Institute, GREECE
- Ali TOPÇU**, Hacettepe Üniversitesi, TÜRKİYE
- Serdar TEZCAN**, Ege Üniversitesi, TÜRKİYE
- Yüksel TÜZEL**, Ege Üniversitesi, TÜRKİYE
- Attila YAZAR**, Çukurova Üniversitesi, TÜRKİYE
- Banu YÜCEL**, Ege Üniversitesi, TÜRKİYE

İÇİNDEKİLER (CONTENTS)

ARAŞTIRMA MAKALELERİ (RESEARCH ARTICLES)

Enhancing fish farmers' welfare through digital agricultural innovation platforms: Evidence from Nigeria

Yenilikçi dijital tarım uygulamaları aracılığıyla balıkçıların refahının artırılması: Nijerya örneği
Abraham FALOLA, Ridwan MUKAILA, Adetunji Sanjo OLANREWAJU, Omolola Nafisat YEKEEN, Festus Eluwande AWOYELU, Ibrahim Isaac UMARU273

The effect of zinc fertilization on yield and quality of commercial processing tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars

Çinko gübrelemesinin sanayi tipi domates (*Solanum lycopersicum* L.) çeşitlerinde verim ve kalite üzerine etkisi
Yahya NAS, İbrahim DUMAN285

Improving growth and productivity of shallot (*Allium ascalonicum* L.) applied using organic and inorganic fertilizer

Organik ve inorganik gübre uygulaması ile şalot soğanının (*Allium ascalonicum* L.) büyüme ve verimliliğinin artırılması
Siti Hajrah ARIF, Feranita HARING, Muhammad RIADI297

Effect of NPK fertilization and seed rate on barley (*Hordeum vulgare*) yield, yield component and nitrogen dynamics in semi-arid conditions

NPK gübreleme ve tohum oranının, yarı- kurak koşullarda arpa (*Hoordeum vulgare*) verimi, verim bileşenleri ve azot dinamikleri üzerindeki etkisi
Rahila ISLAMZADE, Tariverdi ISLAMZADE, Gatiba HASANOVA, Sultan HUSEYNOVA, Tunzala BABAYEVA307

Doğu Akdeniz Bölgesinde örtüaltı ve açık alanda yetiştirilen bazı incir çeşitlerinin erkencilik, verim ve meyve kalite özelliklerinin karşılaştırılması

Comparison of earliness, yield and fruit quality properties of some fig cultivars growing under greenhouse and open field in the eastern Mediterranean Region of Türkiye
Oğuzhan ÇALIŞKAN, Derya KILIÇ, Safder BAYAZIT, Fatih ŞEN321

Hıyar (*Cucumis sativus*) bitkisinde Kök-ur nematodları (*Meloidogyne* spp.) ile mücadelede salisilik asit ve *Paecilomyces lilacinus* strain PL1'un birlikte kullanımı

The synergic usage effectiveness of salicylic acid and *Paecilomyces lilacinus* strain PL1 in the control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) in cucumber (*Cucumis sativus*) plant

Bariş ÇİPLİ, Galip KAŞKAVALCI.....335

***Chlorella vulgaris* mikroalg ilavesiyle zenginleştirilmiş erişte üretimi**

Production of erişte enriched with the addition of *Chlorella vulgaris* microalgae

Hatice SIÇRAMAZ, Gülşah KARABULUT, Semanur YILDIZ.....345

Bazı Avrupa Birliği ülkelerinin tarımsal yapılarının TOPSIS yöntemi ile incelenmesi

Examination of agricultural structures of some European Union countries using TOPSIS method

Figen ÇUKUR, Tayfun ÇUKUR357

Tuz stresi altındaki pamukta (*Gossypium hirsutum* L.) 24-epibrassinolid'in etkinliği

Efficacy of 24-epibrassinolide in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) under salt stress

Hakan ALTUNLU, Yonca SURGUN ACAR, Atilla Levent TUNA, Betül BÜRÜN367

DERLEMELER (REVIEWS)

Selection of succulent species to be used on green roofs according to phytogeographic regions: Türkiye example

Yeşil çatılarda kullanılacak sukulent türlerinin fitocoğrafik bölgelere göre seçimi: Türkiye örneği

Onur AKSOY, Kamil ERKEN.....383



Research Article
(Araştırma Makalesi)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2024, 61 (3):273-283
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1414757>

Abraham FALOLA¹

Ridwan MUKAILA²

Adetunji Sanjo OLANREWaju³

Omolola Nafisat YEKEEN¹

Festus Eluwande AWOYELU^{2*}

Ibrahim Isaac UMARU²

¹ Department of Agricultural Economics and Farm Management, University of Ilorin, 240003, Ilorin, Kwara State, Nigeria

² Department of Agricultural Economics, University of Nigeria, 410001, Nsukka, Enugu State, Nigeria

³ Department of Sociology, University of Ilorin, 240003, Ilorin, Kwara State, Nigeria

* Corresponding author (Sorumlu yazar):

festus.awoyelu@unn.edu.ng

Keywords: Digital agricultural innovation, fish farming, revenue, welfare, yield

Anahtar sözcükler: Dijital tarımsal inovasyon, balık yetiştiriciliği, gelir, refah, verim

Enhancing fish farmers' welfare through digital agricultural innovation platforms: Evidence from Nigeria

Yenilikçi dijital tarım uygulamaları aracılığıyla balıkçıların refahının artırılması: Nijerya örneği

Received (Alınış): 04.01.2024

Accepted (Kabul Tarihi):01.06.2024

ABSTRACT

Objective: Despite the potential of digital innovation platforms to improve farmers' welfare its adoption is low due to scanty empirical evidence on the subject matter. Therefore, this study examined the contribution of digital innovation platforms to fish farm output and income in Nigeria.

Material and Methods: Data gathered from 187 catfish farmers were analysed using descriptive statistics and t-tests.

Results: The results revealed that digital innovation platform provides credit facilities to fish farmers to boost their production activities. Before fish farmers adopted the digital innovation platform, they stocked an average of 733.12 fingerlings, which increased to 952.83 fingerlings after adopting digital innovation. Also, the adoption of digital innovation platforms significantly increased fish farm output from 742.28 kg to 1,057.81 kg. Fish farmers' revenue from fish farming consequently increased from ₦540,905.11 Nigerian Naira(USD 1,307.01) to ₦780,444.98 Nigerian Naira(USD 1,885.82) after adopting the digital innovation. Therefore, the adoption of digital innovation significantly increased farm output and income by 42.51% and 44.29%, respectively.

Conclusion: Digital innovation platforms significantly improved farmers' welfare. Based on this, this study advocates that fish farmers should be encouraged to adopt digital innovation platforms by creating awareness and providing more funds through digital innovation platforms.

ÖZ

Amaç: Dijital inovasyon platformlarının çiftçilerin refahını artırma potansiyeline rağmen, konuyla ilgili ampirik kanıtların yetersiz olması nedeniyle benimsemesi düşüktür. Bu nedenle, bu çalışmada dijital inovasyon platformlarının Nijerya'daki balık çiftliği üretimine ve gelirine katkısı incelenmiştir.

Materyal ve Yöntem: 187 yayın balığı çiftçisinden toplanan veriler, tanımlayıcı istatistikler ve t-testleri kullanılarak analiz edilmiştir.

Araştırma Bulguları: Sonuçlar, dijital inovasyon platformunun, balık çiftçilerine üretim faaliyetlerini artırmaları için kredi kolaylığı sağladığını ortaya koymuştur. Balık çiftçileri dijital inovasyon platformunu benimsemeden önce ortalama 733,12 yavru balık stoklarken; bu rakam dijital yeniliği benimsedikten sonra 952,83 yavruya yükselmiştir. Ayrıca dijital inovasyon platformlarının benimsemesi, balık çiftliği üretimini 742,28 kg'dan 1.057,81 kg'a anlamlı bir şekilde artırmıştır. Balık çiftçilerinin balık yetiştiriciliğinden elde ettiği gelir, dijital yeniliği benimsedikten sonra 540.905,11 Nijerya Nairası'ndan (1.307,01 ABD Doları) 780.444,98 Nijerya Nairası'na (1.885,82 ABD Doları) yükselmiştir. Dolayısıyla, dijital inovasyonun benimsemesi, çiftlik üretimini ve gelirini sırasıyla %42,51 ve %44,29 oranında önemli ölçüde artırmıştır. .

Sonuç: Dijital inovasyon platformları çiftçilerin refahını önemli ölçüde artırmıştır. Buna göre, bu çalışma, farkındalık oluşturmak ve dijital inovasyon platformları aracılığıyla daha fazla fon sağlayarak balık çiftçilerinin dijital inovasyon platformlarını benimsemeye teşvik edilmesi gerektiğini savunmaktadır.

INTRODUCTION

Rearing animals remains a major source of protein needed to boost the body's immune system, fight against diseases, and live a healthy life globally (Cevher et al., 2022; Mukaila, 2023). This is in addition to its economic importance, employment generation, contribution to people's livelihoods, and ability to solve the problem of malnutrition facing developing nations, especially sub-Saharan African countries (Achoja & Nwokolo, 2021; Koç & Uzmay, 2022; Akouegnonhou & Demirbaş, 2023; Mukaila et al., 2023a). This is particularly true for Nigeria, where malnutrition and food insecurity are widely spread (Falola et al., 2023; Mukaila et al., 2024). The consumption of animal-sourced food is considered a way out of the menace of malnutrition globally (Headey et al., 2018).

Fish farming is a crucial component of the animal farming sector, capable of improving food security, nutrition (Ogundari, 2017; Kent, 2019; Garlock et al., 2020; Song et al., 2023; Bjørndal et al., 2024; Kaminski et al., 2024; Ye et al., 2024), the income of people (Aheto et al., 2019; Adeleke et al., 2021) and nations' GDP (Elzaki et al., 2024). Expansion of fish production is crucial for readily available nutrients such as protein, fats and oils, minerals, and vitamins needed to alleviate undernourishment and nutrient deficiency diseases in sub-Saharan Africa (Falola et al., 2022a, b). Fish and other aquatic products and their derived products are widely consumed due to their nutritional values (Chan et al., 2019; Liverpool-Tasie et al., 2021; Nissa et al., 2021; Sroy et al., 2021).

Fish production is largely on a small-scale level in Nigeria and is practiced using earthen ponds, concrete ponds, and plastic ponds (Iruo et al., 2018; Oluwatayo & Adedeji, 2019; Folorunso et al., 2021), but the output is not enough to meet the local demand. Currently, in Nigeria, the demand (3.6 million metric tons) for fish is higher than the local supply (1.1 million metric tons), thereby creating a wide demand-supply gap. Despite the wide gap, most fish farmers are unable to move from small-scale farming to large-scale farming. This is a result of some constraints limiting fish farm expansion and aquaculture development. The major ones are poor access to funds, low adoption of technology, mortality, disease outbreaks, and small-size holdings (Kaleem & Sabi, 2021; Mukaila et al., 2023b). Taking this into consideration, some agricultural technology digital platforms in Nigeria connect individual or working-class people as farm sponsors with catfish farmers to increase fish production. This innovation seeks to improve fish production, farmers' income, and general well-being. Digital farming technology also aims to transform agriculture from traditional methods to modern and improved methods to achieve high productivity (Mondejar et al., 2021; Baumüller & Kah, 2022; Ingram et al., 2022; Yaghoubi & Niknami, 2022; Arthur et al., 2024; Bekee et al., 2024; Kitole et al., 2024). Despite its great potential, its usage is still very low in developing countries, especially in Africa, which could be linked to limited empirical research on its welfare contribution.

Studies (e.g., Aker & Mbiti, 2010; Halewood & Surya, 2012; Iliyas, 2014; El Bilali & Allahyari, 2018; Falola et al., 2021) have shown that ICT-based innovations improve farmers' income and access to information. Agricultural innovation has also been shown to improve farm output and income (Ogunniyi et al., 2017; Akanbi et al., 2024). However, the role of digital innovation platforms in fish farmers' welfare is lacking in the literature, especially in Nigeria. This implies that more studies are needed on the effects of digital innovation on farmers' welfare. Therefore, this study aims to examine the contribution of digital innovation platforms to farmers' access to credit and to investigate the effect of digital innovation on fish farmers' output and income in Nigeria. This is needed to promote the adoption of digital innovation platforms among farmers in Nigeria and other African countries.

MATERIALS and METHODS

Study area

This study was conducted in Nigeria using digital innovation provider located in Lagos and Ogun State. The states are bounded by the Atlantic Ocean, which makes them a good place for fish farming

Sampling techniques

The catfish farmers under the FARMKART agritech company were used for this study. Out of the 205 registered farmers with FARMKART, 187 were available and able to successfully fill out the questionnaire administered. Thus, the study used 187 fish farmers for the analysis, which is enough to give a good representation of the population.

Data collection method

The data was collected primarily by the researchers. This was achieved through the use of a well-structured questionnaire. The questionnaire consists of four different sections. The survey involved the collection of information on individuals, household numbers, farming experience, average monthly income, age, gender, and education, among other socioeconomic and demographic characteristics. Other information collected included their knowledge of digital innovation, the benefits of digital innovation platforms, their income and productivity, and how they have improved since the adoption of digital innovation platforms.

Data analysis

In analysing the data obtained for the study, descriptive statistics and t-tests were employed.

Descriptive statistics: Descriptive statistics (such as means, tables, frequency distribution, and percentages) were used to analyse, summarize and describe the socioeconomic characteristics of the catfish farmers. It was also used to examine the contribution of digital innovation to fish farmers' access to financial facilities, productivity, and income.

T-test: The t-test statistic was used to compare the welfare indices of the catfish farmers before and after the adoption of the digital innovation platform. The indices compared include the number of fingerlings stocked in the ponds, catfish yield, and catfish farmers' income. The t statistic was used to test whether the means of all the indices before and after the adoption of the digital innovation platform were significantly different or not. It was estimated as:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_{X_1X_2} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (1).$$

Where:

t = t-test value

\bar{X}_1 and \bar{X}_2 are the mean values of group 1 (before the adoption of the digital innovation platform) and group 2 (after the adoption of the digital innovation platform) compared.

$S_{X_1X_2}$ is the standard deviation of the two groups.

n_1 and n_2 = number of catfish farmers (n_1 = Before the adoption of digital innovation platforms, and n_2 = after the adoption of the digital innovation platform).

RESULTS and DISCUSSION

Socio-economic characteristics of catfish farmers

This section mainly describes the socio-economic and demographic characteristics of fish farmers who adopted digital innovation in their farming activities. The statistical summary of the catfish farmers' socio-economic characteristics is presented in Table 1. The results revealed that a larger proportion of the catfish farmers (43.3%) in the study area were between 35 and 44 years of age. They had an average age of 38.51 years, indicating an economically active age where they can adopt technology. Younger farmers understand the benefits of innovation in their farming activities and, thus, have a higher level of technology adoption compared to the old farmers (Nechar et al., 2021; Foguesatto & Machado, 2022).

The majority of fish farmers (80.7%) were males, while only 19.3% were females. This indicates that fish farming is a male-dominated venture and could be due to the energy requirement of farming. The majority (81.8%) were married, followed by singles (11.8%) and widows (6.4%).

Table 1. Socioeconomic characteristics of catfish farmers

Tablo 1. Yayın balığı yetiştiricilerinin sosyoekonomik özellikleri

Variable	Categories	Frequency	Percentage
Age (years) Mean 38.5	25-34	67	35.8
	35-44	81	43.3
	45-54	39	20.9
Gender	Male	151	80.7
	Female	36	19.3
Marital status	Single	22	11.8
	Married	153	81.8
	Widowed	12	6.4
Educational qualification	SSCE	61	32.6
	ND/NCE	49	26.2
	HND/University Degree	71	38
	Postgraduate	6	3.2
Major occupation	Fish farming	138	73.8
	Trading	28	15
	Civil servant	6	3.2
	Artisan	15	8
Years of Fish farming Mean = 8.3	Less than 4	43	23
	4-7	47	25.1
	8-11	56	29.9
	12-15	20	10.7
	Above 15	21	11.2
Monthly income (₦) Mean = 140,855.12	Less than 50,000	18	9.6
	50,001-100,000	48	25.7
	100,001-150,000	70	37.4
	Above 150,000	51	27.3
Household size Average = 5.6	Less than 4 members	40	21.4
	4-7 members	114	61
	Above 7 members	33	17.6

Regarding their educational qualification, all of the catfish farmers had formal education: 38 percent were Higher National Diploma (HND) or university degree holders, 32.6 per cent were Senior School Certificate Examination (SSCE) holders, 26.2% were Nigeria Certificate in Education (NCE) or National Diploma (ND) certificate holders, and 3.2 per cent were postgraduate degree certificate holders. This could be a reason why they adopted this technology. This is because education enhances decision-making and the adoption of technology as they will be aware of its benefits (Akanbi et al., 2024; Boyacı, 2022; Gbigbi & Ndubuokwu, 2022; Mukaila et al., 2022). In addition, the use of ICT technology requires some level of education (Nechar et al., 2021), at least to read the information and operate the technology. The majority (73.8%) had catfish farming as a primary occupation. They had about eight years of farming experience, which indicates that they are experienced farmers who are knowledgeable about fish farming. Farming experience could positively influence farmers' use of ICT-related innovation (Mansour, 2022). The catfish farmers had an average monthly income of ₦140,855.12 (USD 340.35), which is an indication that fish farming under the use of digital innovation platforms gives the farmers a high income. Frequency distribution according to household size revealed that they had an average household size of about six members. This is relatively large, which is a result of the polygamous and extended nature of rural farming households in Nigeria and for them to have cheap family labour in their farming operations (Chiemela et al., 2022; Falola et al., 2022c).

Access to financial support by catfish farmers from digital innovation

Table 2 presents catfish farmers' access to financial support from digital innovation providers. Access to external finance is crucial for farmers to enhance their productivity and investment in the farming business because personal funds are never enough for farmers to boost their production in Nigeria and other African countries (Falola et al., 2022d; Gbigbi, 2023). In addition, smallholder farmers required financial assistance to adopt technology. Therefore, farmers need sustainable, accessible, and affordable external financial facilities to increase their level of operations. Table 2 shows that all of the catfish farmers accessed credit facilities through digital innovation. The majority of catfish farmers (74.9%) indicated that they had access to over ₦400,000 (USD 966.53) in credit from digital innovation platforms, 21.4 percent had access to less than ₦300,000 (USD 724.90), and 3.7 per cent had access to between ₦200,000 (USD 483.27) and ₦300,000 (USD 724.90). This indicates that fish farmers accessed a significant proportion of their production capital from digital innovation platforms, which was used to boost their productivity. The loan repayment period ranges from a few months to a year. This allowed the farmers to use the loan for at least a production cycle before they paid back to the digital innovation providers. This gives the farmers enough time without being bothered about how to pay back the loan when their fish have not reached marketable size. The majority of the fish farmers pay the loan to the digital innovation provider at the end of six months, which is usually the period of harvest among the farmers. This indicates that digital innovation platforms give fish farmers a moratorium period of about six months, which is longer than commercial banks in Nigeria. These results imply that digital innovation platforms provide farmers with financial facilities in the form of credit to ease fish productivity activities and expand their ventures. Thus, the digital innovation platform plays a significant role in financing fish farmers' production activities and investment. Kudama et al. (2021) also found that the use of digital solutions enhanced farmers' access to financial facilities in sub-Saharan Africa.

Table 2. Access to financial support by catfish farmers from digital innovation

Tablo 2. Yayın balığı çiftçilerinin dijital inovasyondan mali desteğe erişimi

Variables	Categories	Frequency	Percentage
Access to credit facilities through digital technology platforms	Yes	187	100
	No	0	0
Amount borrowed	Less than ₦300,000	40	21.4
	₦300,001-₦400,000	7	3.7
	Above ₦400,000	140	74.9
Duration of the loan obtained through digital technology	6 months	146	78.1
	1 year	41	21.9

Welfare of catfish farmers before and after the adoption of digital innovation

This section disintegrates the survey samples before and after the intervention of digital innovation. This section explored the welfare of farmers before and after using digital innovation platforms. Welfare was measured by five key indicators: income from fish farming, the size of ponds, the number of ponds, the number of fingerlings, and farm output. Table 3 presents the number of ponds, the size of ponds, the number of fingerlings stocked by farmers, the yield of the farms, and farmers' income from the sale of fish before they adopted digital innovation technology and after the adoption of digital innovation technology.

As regards the number of ponds, the average number of ponds among fish farmers, before they adopted digital agricultural innovation platforms, was two, while it was three after they adopted digital technology. Thus, there exists a significant difference of one pond in the number of ponds of fish farmers before and after the adoption of digital innovation platforms at a one percent significant level. The adoption of a digital innovation platform resulted in a 59.90 percent increase in catfish farmers' number of ponds on their farms. Thus, fish farmers in the study area are better off in terms of the number of ponds they have after they

adopt digital innovation platforms. This is due to the financial assistance gotten from digital agricultural innovation platforms by the adopters of the innovation, which was used to increase their investment through the construction of more ponds. This indicates the need for fish farmers who are currently not using digital innovation technologies to adopt digital innovation platforms to increase their investment.

From the pond size analysis, it is revealed that fish farmers had an average pond size of 798.4 m³ before the adoption of the digital agricultural innovation platform. After adopting digital technology in their fish farming activities, they had an average of 925.67 m³ pond size. On average, the difference between the pond size of fish farmers before and after the adoption of the digital agricultural innovation platform was 127.27 m³, which is significant at a 1% statistical level. Therefore, the adoption of a digital innovation platform resulted in a 15.94 percent increase in catfish farmers' pond size. This implies that the adoption of digital innovation platforms increased the pond size, which was a result of financial assistance from digital innovation platforms to expand their farm business. Thus, there exists a significant difference in the pond size of fish farmers before and after the adoption of digital innovation platforms. This would allow the fish farmers to increase their production level as they would have enough pond space to increase the number of fingerlings stocked. This further suggests the need to promote the adoption of digital innovation platforms among fish farmers.

Before the adoption of digital innovation in fish farming, the catfish farmers stocked an average of 733.12 fingerlings in the ponds. After adopting digital technology in their fish farming activities, they stocked an average of 952.83 fingerlings in the ponds. The number of fingerlings stocked before and after the adoption of digital innovation increased by 219.71 fingerlings. Therefore, the adoption of a digital innovation platform resulted in a 29.97 percent increase in catfish farmers' number of fingerlings stocked in their ponds. It can be deduced that there is a significant difference in the number of fingerlings stocked by catfish farmers before and after the adoption of digital innovation at a 1% level of significance, as indicated by the t-value of the t-test. This implies that the catfish farmers were able to stock an additional 248 fingerlings on average in the ponds after adopting digital innovation. Thus, the adoption of digital innovation in agriculture increased farmers' access to farming input (fingerlings) among catfish farmers. The reason behind this is due to the financial benefits derived from digital innovation platforms. Furthermore, the digital agricultural innovation platforms also supply fingerlings to the adopters of the innovation at a good price, which prompts the adopters to get more improved fingerlings. Hence, the adoption of digital innovation platforms should be encouraged among fish farmers.

Before the adoption of digital innovation in fish farming, catfish farmers had an average yield of 742.28 kg per production cycle. After adopting digital technology in their fish farming activities, they had an average yield of 1,057.81 per production cycle. The quantity of fish output before and after the adoption of digital innovation increased by 315.53 kg. This indicates that the adoption of a digital innovation platform resulted in a 42.51 percent increase in catfish yield or output. Thus, there exists a significant difference in the catfish yield of the farmers before and after the adoption of digital innovation at a 1% statistical level of significance, as indicated by the t-value of the t-test. In other words, catfish farmers in the study area experienced an increment of about 315.53 kg after adopting digital innovation. This result implies that the adoption of digital innovation in agriculture has increased farm output among catfish farmers. This is due to the financial assistance and farming advice received by farmers from the digital innovation platform. It is also due to the improved fingerlings obtained from the digital agricultural innovation platform providers, which give a higher yield than other sources of fingerlings in the study area. Thus, the adoption of digital innovation platforms is required to boost fish farms' productivity. Its adoption would consequently increase food and nutrition security due to its contribution to the outputs of the farms. This corroborates the arguments of previous studies (for example, Iliyas, 2014; Lioutas et al., 2019; Arouna et al., 2020; Quandt et al., 2020; Kudama et al., 2021) that digital technology increases agricultural productivity.

Furthermore, before the adoption of digital innovation in fish farming, the catfish farmers had an average revenue of ₦540,905.11 (USD 1,307.01) from the fish farm. After adopting digital technology in their fish farming activities, they had an average revenue of ₦780,444.98 (USD 1,885.82) from their fish farms. The revenue generated from the fish farm before and after the adoption of digital innovation increased by ₦239,539.87 (USD 578.81) in a production cycle. This is an indication that the adoption of the digital innovation platforms resulted in a 44.29 percent increase in catfish farmers' income. Thus, there exists a significant difference in catfish revenue or income to the fish farmers before and after the adoption of digital innovation at a 1% statistical level of significance, as indicated by the t-value of the t-test. In other words, catfish farmers in the study area experienced an increment of about ₦239,539.87 (USD 578.81) after adopting digital innovation in fish farming. These results imply that digital innovation in agriculture is a critical tool to enhance fish farms' output and farmers' income, and its adoption must be encouraged among farmers. Its adoption would consequently reduce farming households' poverty due to its contribution to the outputs of the farms. This is in line with previous findings, such as those of El Bilali & Allahyari (2018) and Falola et al. (2021), that ICT-based innovations enhance farmers' income and improve farmers' livelihoods in developing countries. Hence the adoption of digital technologies must be encouraged among farmers to boost their income.

Table 3. Welfare indices of catfish farmers before and after the adoption of digital innovation

Tablo 3. Dijital yeniliğin benimsenmesinden önce ve sonra yayın balığı çiftçilerinin refah endeksleri

Welfare Indices	Before adoption	After adoption	Mean Difference	t-value	Percentage increase
Pond size (m ³)	798.4	925.67	127.27***	12.8522	15.94%
Number of ponds	2.02	3.22	1.21***	18.3505	59.90%
Number of fingerlings	733.12	952.83	219.71***	8.5155	29.97%
Catfish yield (Kg per harvest)	742.28	1,057.81	315.53***	7.1594	42.51%
Farmers' income or revenue from catfish production (₦)	540,905.11	780,444.98	239,539.87***	6.8538	44.29%

*** shows the mean difference is significant at a 1% statistical level.

CONCLUSION

The study explored the digital agricultural innovation and welfare of catfish farmers in Nigeria. This study shows that the adoption of digital innovation platforms enhances catfish farmers' access to credit needed for their farming activities. Furthermore, the study reveals the outcome effect of using digital innovation on catfish farming productivity and catfish farmers' income, which was significantly higher than before the digital innovation platform was introduced to them. This study therefore concludes that the adoption of digital innovation platforms by catfish farmers is an important way for farmers to have access to credit, increase their production level, and improve their welfare. Thus, the adoption of digital innovation by other farmers will boost their standard of living since it has been proven to increase the productivity and income of the adopters significantly.

To achieve more participation in the digital innovation platforms by fish farmers to improve their productivity and income, this study recommends that catfish farmers should be motivated and encouraged to adopt digital innovation in agriculture. Such motivations include increasing financial support from the digital innovation platform providers and investors given to the farmers. Provision of fish farming inputs, especially improved variety of fingerlings, by digital innovation providers will further motivate farmers to adopt the technologies. More awareness creation of digital innovation in agriculture for the farmers is needed by the agricultural extension agents and digital innovation providers so they can be well informed about the benefits of adopting the innovation.

Data Availability

Data will be made available upon reasonable request.

Author Contributions

Conception and design of the study: AF, RM, ONY; analysis and interpretation of data: ONY, AF, RM, ASO, FEA, IIU; statistical analysis: RM, AF, ONY; visualization: AF, RM, ONY, ASO, FEA, IIU; writing manuscript: AF, RM, ONY, ASO, FEA, IIU.

Conflict of Interest

There is no conflict of interest between the authors in this study.

Ethical Statement

This research was approved by the ethics committee of University of Nigeria, Nsukka, Department of Agricultural Economics Ethical Review Committee with document number UNN/AGEC/19/EGAP/21, dated 11th July, 2022.

Financial Support

This research did not receive any external funding.

Article Description

This article was edited by Section Editor Dr. H. Ece SALALI.

REFERENCES

- Achoja, F.O. & N. Nwokolo, 2021. Is debt financing a burden or a boost to the growth of small-scale poultry farms? Evidence from Nigeria. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18 (2): 179-186. <https://doi.org/10.33462/jotaf.665710>
- Adeleke, B., D. Robertson-Andersson, G. Moodley & S. Taylor, 2021. Aquaculture in Africa: a comparative review of Egypt, Nigeria and Uganda vis-à-vis South Africa. *Reviews in Fishery Science & Aquaculture*, 29 (2): 167-197. <https://doi.org/10.1080/23308249.2020.1795615>
- Aheto, D.W., E. Acheampong & J.O. Odoi, 2019. Are small-scale freshwater aquaculture farms in coastal areas of Ghana economically profitable? *Aquaculture International*, 27: 785-805. <https://doi.org/10.1007/s10499-019-00363-9>
- Akanbi, S.O., R. Mukaila & A. Adebisi, 2024. Analysis of rice production and the impacts of the usage of certified seeds on yield and income in Cote d'Ivoire. *Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies*, 14 (2): 234-250. <https://doi.org/10.1108/JADEE-04-2022-0066>
- Aker, J.C. & I.M. Mbiti, 2010. Mobile phones and economic development in Africa. *Journal of Economic Perspectives*, 24 (3): 207-232. <http://dx.doi.org/10.1257/jep.24.3.207>
- Akouegnonhou, O. & N. Demirbaş, 2023. Factors influencing participation in self-managed livestock markets in rural communities in the Republic of Benin. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20 (1): 186-196. <https://doi.org/10.33462/jotaf.1136780>
- Arouna, A., J.D. Michler, W.G. Yergo & K. Saito, 2020. One size fits all? Experimental evidence on the digital delivery of personalized extension advice in Nigeria. *American Journal of Agricultural Economics*, 103 (2): 596-619. <https://doi.org/10.1111/ajae.12151>
- Arthur, K.K., R.K. Bannor, J. Masih, H. Oppong-Kyeremeh & P. Appiahene, 2024. Digital innovations: Implications for African agribusinesses. *Smart Agricultural Technology*, 7: 100407. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100407>
- Baumüller, H. & M.O.M. Kah, 2022. "Going: Digital Harnessing the Power of Emerging Technologies for the Transformation of Southern African Agriculture, 179-187". In: *Transforming Agriculture in Southern Africa: Constraints, Technologies, Policies and Processes* (Eds. R.A. Sikora, E.R. Terry, P.L.G. Vlek & J. Chitja). Routledge, London, 348 pp.
- Bekee, B., M.S. Segovia & C. Valdivia, 2024. Adoption of smart farm networks: a translational process to inform digital agricultural technologies. *Agriculture & Human Values*, (2024): in Press. <https://doi.org/10.1007/s10460-024-10566-3>

- Bjørndal, T. M. Dey & A. Tusvik, 2024. Economic analysis of the contributions of aquaculture to future food security. *Aquaculture*, 578: 740071. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740071>
- Boyacı, M., 2022. Factors affecting the adaptation of farmers to innovations according to extension workers: The case of Aegean Region. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 59 (1): 43-59. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.891627>
- Cevher, C., B. Altunkaynak, Y. Ataseven, Ö. Köksal, Z. Bayramoğlu & G. G. Yavuz, 2022. Investigation of agricultural supports on forage crop production: a perspective of the effects of supports on the basis of regions. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 59 (1): 1-15. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.898219>
- Chan, C.Y., N. Tran, S. Pethiyagoda, C.C., Crissman, T.B., Sulser & M.J. Phillips, 2019. Prospects and challenges of fish for food security in Africa. *Global Food Security*, 20: 17-25. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.12.002>
- Chiemela, C. J., R. Mukaila & I.C. Ukwuaba, 2022. Economics of the use of modern and traditional methods in honey production among farmers in Enugu State Nigeria. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 59 (4): 611-619, <https://doi.org/10.20289/zfdergi.1162027>
- El Bilali, H. & M.S. Allahyari, 2018. Transition towards sustainability in agriculture and food systems: Role of information and communication technologies. *Information Processing in Agriculture*, 5 (4): 456-464. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2018.06.006>
- Elzaki, R.M., 2024. Does fish production influence the GDP and food security in Gulf Cooperation Council countries? Evidence from the dynamic panel data analysis. *Aquaculture*, 578: 740058. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740058>
- Falola, A., R. Mukaila & A.M. Kudabo, 2021. Economic effect of social media on small-scale poultry farmers. Evidence from Nigeria. *International Journal of Agricultural Science, Research and Technology in Extension and Education Systems*, 11 (3): 163-172. https://ijasrt.shoushtar.iau.ir/article_690727.html
- Falola, A., R. Mukaila & J.O. Emmanuel, 2022a. Economic analysis of small-scale fish farms and food security in North-Central Nigeria. *Aquaculture International*, 30 (6): 2937-2952. <https://doi.org/10.1007/s10499-022-00944-1>
- Falola, A., R. Mukaila, T.E. Olonade, I.A. Adeshina & A.M. Adewale, 2022b. Artisanal fish farmers' welfare in Nigeria: Drivers and challenges. *Mustafa Kemal University Journal of Agricultural Sciences*, 27 (3): 588-600. <https://doi.org/10.37908/mkutbd.1114623>
- Falola, A., R. Mukaila, T.F. Lawal & M.A. Akinsuyi, 2022c. Commercialization of pigeon pea production: its determinants and constraints. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 19 (4): 840-849. <https://doi.org/10.33462/jotaf.1113523>
- Falola, A., R. Mukaila & K.O. Abdulhamid, 2022d. Informal finance: its drivers and contributions to farm investment among rural farmers in Northcentral Nigeria. *Agricultural Finance Review*, 82 (5): 942-959. <https://doi.org/10.1108/AFR-08-2021-0116>.
- Falola, A., R. Mukaila & A.E. Adetipe, 2023. Food insecurity and dietary diversity of the vulnerable group in Nigeria: drivers and coping strategies. *KSU Journal of Agriculture & Nature*, 26 (2): 355-364. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdogavi.1102888>
- Foguesatto, C.R. & J.A.D. Machado, 2022. Adoption of sustainable agricultural practices in Brazil: understanding the influence of socioeconomic and psychological factors. *Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies*, 12 (2): 204-222. <https://doi.org/10.1108/JADEE-11-2020-0256>
- Folorunso, E.A., M.A. Rahman, I. Sarfo, G. Darko & O.S. Olowe, 2021. Catfish farming: a sustainability study at Eriwe fish farming village in southwest Nigeria. *Aquaculture International*, 29: 827-843. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00662-0>
- Garlock, T., F. Asche, J. Anderson, T. Bjørndal, G. Kumar, K. Lorenzen, A. Ropicki, M.D. Smith & R. Tveterås, 2020. A global blue revolution: Aquaculture growth across regions, species, and countries. *Reviews in Fishery Science & Aquaculture*, 28 (1): 107-116. <https://doi.org/10.1080/23308249.2019.1678111>
- Gbigbi, T. M. & G.O. Ndubuokwu, 2022. Determinants of agricultural insurance patronage among crop farmers in Delta north agricultural zone, Delta State, Nigeria. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 59 (2): 235-248, <https://doi.org/10.20289/zfdergi.883004>

- Gbigbi T.M. 2023. Agricultural Bank of credit intervention and the application of big push theory to beneficiaries from farmers: evidence from Nigeria. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19 (2): 237-247. <https://doi.org/10.33462/jotaf.867593>
- Halewood, N.J. & P. Surya, 2012. Mobilizing the Agricultural Value Chain. In 2012 Information and Communication for Development-Maximizing Mobile, World Bank, Washington D.C., 243 pp.
- Headey, D., K. Hirvonen & J. Hoddinott, 2018. Animal-sourced foods and child stunting. *American Journal of Agricultural Economics*, 100 (5): 1302-1319. <https://doi.org/10.1093%2Fajae%2Faaay053>
- Iliyas, S., 2014. Impact of Information Technology in Agriculture Sector. *International Journal of Food, Agriculture and Veterinary Sciences*, 4 (2): 17-22.
- Ingram, J., D. Maye, C. Bailye, A. Barnes, C. Bear, M. Bell, D. Cutress, L. Davies, A. de Boon, L. Dinnie, J. Gairdner, C. Hafferty, L. Holloway, D. Kindred, D. Kirby, B. Leake, L. Manning, B. Marchant, A. Morse, S. Oxley, M. Phillips, A. Regan, K. Rial-Lovera, D.C. Rose, J. Schillings, F. Williams, H. Williams & L. Wilson, 2022. What are the priority research questions for digital agriculture? *Land Use Policy*, 114: 105962. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105962>
- Iruo, F.A., R.U. Onyeneke, C.C., Eze, C., Uwadoka & C.O. Igberi, 2018. Economics of small-scale fish farming to poverty alleviation in Niger Delta region of Nigeria. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 19 (4): 313-332. http://doi.org/10.4194/1303-2712-v19_4_06
- Kaleem, O. & A.B.S. Sabi, 2021. Overview of aquaculture systems in Egypt and Nigeria, prospects, potentials, and constraints. *Aquaculture and Fisheries*, 6: 535-547. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2020.07.017>
- Kaminski, A.M., S.M. Cole, J. Johnson, S.H. Thilsted, M. Lundeba, S. Genschick & D.C. Little, 2024. Smallholder aquaculture diversifies livelihoods and diets thus improving food security status: evidence from northern Zambia. *Agric & Food Security*, 13 (1): 1-21. <https://doi.org/10.1186/s40066-023-00452-2>
- Kent, G., 2019. *Fish, Food, and Hunger: The Potential of Fisheries for Alleviating Malnutrition*. Routledge, Milton Park, 212 pp.
- Kitole, F.A., E. Mkuna & J.K. Sesabo, 2024. Digitalization and agricultural transformation in developing countries: Empirical evidence from Tanzania agriculture sector. *Smart Agricultural Technology*, 7: 100379. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100379>
- Koç, G. & K. Uzmay, 2022. Analyzing the effects of livestock policies on farm-level efficiency in Turkey; Thrace Region case. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19 (3): 515-528. <https://doi.org/10.33462/jotaf.978947>
- Kudama, G., M. Dangia, H. Wana & B. Tadese, 2021. Will digital solutions transform Sub-Saharan African agriculture? *Artificial Intelligence in Agriculture*, 5: 292-300. <https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2021.12.001>
- Lioutas, E.D., C. Charatsari, G. La Rocca & M. De Rosa, 2019. Key questions on the use of big data in farming: an activity theory approach. *NJAS-Wageningen Journal of Life Science*, 90 (1): 100297. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.04.003>
- Liverpool-Tasie, L.S.O., A. Sanou, T. Reardon & B. Belton, 2021. Demand for imported versus domestic fish in Nigeria. *Journal of Agricultural Economics*, 72 (3): 782-804. <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12423>
- Mansour, T., 2022. Factors Affecting mobile phone usage by farmers as a source of agricultural information in Sharqia Governorate, Egypt. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19 (2): 412-425. <https://doi.org/10.33462/jotaf.1013886>
- Mondejar, M.E., R. Avtar, H.L.B. Diaz, R.K. Dubey, J., Esteban, A., Gomez-Morales, B., Hallam, N.T. Mbungu, C.C. Okolo, K.A. Prasad, Q. She & S. Garcia-Segura, 2021. Digitalization to achieve sustainable development goals: Steps towards a Smart Green Planet. *Science of Total Environment*, 794: 148539. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148539>
- Mukaila, R., A.E. Obetta & M.C. Ogbu, 2022. Profitability of melon processing among women in Enugu State, Nigeria. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 19 (3): 620-631. <https://doi.org/10.33462/jotaf.1049260>
- Mukaila, R., 2023. Measuring the economic performance of small-scale rabbit production agribusiness enterprises. *World Rabbit Science*, 31 (1): 35-46. <https://doi.org/10.4995/wrs.2023.18860>
- Mukaila, R., D.K. Folorunso & A. Falola, 2023a. Drivers of profitability of commercial broiler production: empirical evidence from Nigeria. *Acta Universitatis Agriculturae Et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 71 (4): 213-224. <https://doi.org/10.11118/actaun.2023.016>

- Mukaila, R., I.C. Ukwuaba & I.I. Umaru, 2023b. Economic impact of disease on small-scale catfish farms in Nigeria. *Aquaculture*, 575: 739773. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739773>
- Mukaila, R., A. Falola, O.A. Omotosho, S.O. Akanbi, L.O. Egwue & H.O. Aidi, 2024. Effects of COVID-19 on food security status of rural farming households. Evidence from Nigeria. *Journal of Agricultural Sciences (Belgrade)*, 69 (1): 77-94. <https://doi.org/10.2298/JAS2401077M>
- Nechar, M., S. Assassi & M. Bendrissou 2021. What impact of social networks on farmer's performances: case of the milk sector in Ghardaïa, Algeria. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18 (4): 625-635. <https://doi.org/10.33462/jotaf.825151>
- Nissa, M.U., N. Pinto, H. Parkar, M. Goswami & S. Srivastava, 2021. Proteomics in fisheries and aquaculture: an approach for food security. *Food Control*, 127: 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.foodc.ont.2021.108125>
- Ogundari, K., 2017. Categorizing households into different food security states in Nigeria: the socioeconomic and demographic determinants. *Agricultural and Food Economics*, 5 (1): 8. <https://doi.org/10.1186/s40100-017-0076-y>
- Ogunniyi, A., O.K. Oluseyi, S. Adeyemi, S.K. Kabir & F. Philip, 2017. Scaling up agricultural innovation for inclusive livelihood and productivity outcomes in Sub-Saharan Africa: The case of Nigeria. *African Development Review*, 29 (S2): 121-134.
- Oluwatayo, I.B. & T.A. Adedeji, 2019. Comparative analysis of technical efficiency of catfish farms using different technologies in Lagos State, Nigeria: a Data Envelopment Analysis (DEA) approach. *Agriculture & Food Security* 8: 8. <https://doi.org/10.1186/s40066-019-0252-2>
- Quandt, A., J.D. Salerno, J.C. Neff, T.D. Baird, J.E. Herrick, J.T. McCabe, E. Xu & J. Hartter, 2020. Mobile phone use is associated with higher smallholder agricultural productivity in Tanzania, East Africa. *PLoS One*, 15 (8): 1-16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237337>
- Song, H., T. Dong, X. Yan, X. Wang, Z. Tian & H. Hu, 2023. Using Bayesian threshold model and machine learning method to improve the accuracy of genomic prediction for ordered categorical traits in fish. *Agriculture Communications*, 1 (1): 100005. <https://doi.org/10.1016/j.agrcom.2023.100005>
- Sroy, S., E. Arnaud, A. Servent, S. In & S. Avallone, 2021. Nutritional benefits and heavy metal contents of freshwater fish species from Tonle Sap Lake with SAIN and LIM nutritional score. *Journal of Food Composition Analysis*, 96: 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103731>
- Yaghoubi, M. & M. Niknami 2022. Challenges of precision agriculture application in pistachio orchards: factor analysis from Iranian Agricultural Experts' Perspective. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19 (3): 473-482. <https://doi.org/10.33462/jotaf.972740>
- Ye, Y., P.G. Ndiaye & M. Al-Husaini, 2024. Increasing the contribution of Africa's fisheries to food security through improved management. *Food Security*, 16: 455-470. <https://doi.org/10.1007/s12571-024-01432-5>



Research Article
(Araştırma Makalesi)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2024, 61 (3):285-296
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1460963>

Yahya NAS^{1*}

İbrahim DUMAN²

¹ Şirnak University, Faculty of Agriculture,
Department of Horticulture, 73300 Idil,
Şirnak, Türkiye

² Ege University, Faculty of Agriculture,
Department of Horticulture, 35100 Bornova,
İzmir, Türkiye

* Sorumlu yazar (Corresponding author):

yahya.nas@sirnak.edu.tr

The effect of zinc fertilization on yield and quality of commercial processing tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars*

Çinko gübrelemesinin sanayi tipi domates (*Solanum lycopersicum* L.) çeşitlerinde verim ve kalite üzerine etkisi

* This study represents first author's PhD thesis.

Received (Alınış): 29.03.2024

Accepted (Kabul Tarihi):21.06.2024

ABSTRACT

Objective: In this study, conducted in two production seasons, the effects of zinc fertilization on yield and fruit quality of processing tomato varieties (H-1015, Lalin and Kendras) were investigated.

Material and Method: Material consisted of 'H-1015', 'Lalin', and Kendras' processing tomato varieties. The study consisted of 3 different treatments; zinc applied plots, zinc-free plots and control.

Results: The results showed that zinc application to H-1015 and Lalin cultivars gave the highest yield values compared to zinc-free and control treatments in both production seasons. While the differences between the pulp colour values L* and a/b were found to be insignificant in both years, the differences between the values of a* and b* were found to be significant in both years. Similarly, zinc fertilization had no positive effects on the TA and lycopene contents of the varieties. The differences between the fruit pH values of the varieties were found to be significant. While the differences among the Brix values were found to be significant only in 2018, the variety H-1015 showed the highest Brix values in both testing years.

Conclusion: Zinc fertilization is proposed to obtain a high yield in processing tomatoes.

ÖZ

Amaç: İki üretim sezonunda gerçekleştirilen bu çalışmada, çinko gübrelemesinin sanayi domatesi çeşitlerinde (H-1015, Lalin ve Kendras) verim ve meyve kalitesi üzerine etkileri araştırılmıştır.

Materyal ve Yöntem: Materyal 'H-1015', 'Lalin' ve Kendras' sanayi domates çeşitlerinden oluşmuştur. Çalışma; çinko uygulanan, çinko uygulanmayan ve kontrol olmak üzere 3 farklı parselden oluşturulmuştur

Araştırma Bulguları: Sonuçlar, H-1015 ve Lalin çeşitlerine çinko uygulamasının her iki üretim sezonunda da çinkosuz ve kontrol uygulamalarına göre en yüksek verim değerlerini göstermiştir. Pulp rengi L* ve a/b değerleri arasındaki farklılıklar her iki yılda da önemsiz çıkarken, a* ve b* değerleri arasındaki farklılıklar ise her iki yılda da önemli bulunmuştur. Benzer şekilde çinko gübrelemesi çeşitlerin TA ve likopen içeriği üzerine önemli bir etkisi olmamıştır. Çeşitlerin meyve pH değerleri arasındaki farklılıklar ise önemli bulunmuştur. Brix değerleri arasındaki farklılıklar, sadece 2018 yılında önemli çıkmakla birlikte, H-1015 çeşidi her iki deneme yılında da en yüksek brix değerlerini göstermiştir

Sonuç: Sanayi domatesinde yüksek verim elde etmek için çinko gübrelemesi önerilmektedir.

Keywords: Fruit quality, lycopene, processing tomato, yield, zinc sulfate

Anahtar sözcükler: Meyve kalitesi, likopen, sanayi domatesi, verim, çinko sülfat

INTRODUCTION

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is a vegetable that belongs to the family of *Solanaceae*, and is widely grown around the world. With a tomato production of 12 million tones, Türkiye ranks first among European countries and fourth in the whole world (FAOSTAT, 2020).

Currently, the tomato is almost at the top of the list of consumed vegetables. Besides being eaten fresh, it is also consumed in processed form in various products such as tomato paste, sauce, tomato juice, and dried tomatoes. For this reason, the tomato varieties produced today are grown for fresh consumption or industry.

The universal purpose of tomato cultivation is to obtain maximum yield and quality fruit from a unit area (Foolad, 2007). Besides, reporting the fact that about half of the increase in the yield is ensured by the variety cultivated through a breeding program (Grandillo et al., 1999), plant cultivation is also very important (Dumas et al., 2003).

Processing tomato varieties are believed to have specific morphological and phenological characteristics. It is preferred that the varieties grown will have an intense inflorescence so that fruit set is good, the fruits are firm, and can be harvested immediately; and the fruits are resistant to cracking and can be easily separated from their stems. They should also have low pH, high Brix, and good viscosity (Foolad, 2007).

In the cultivation of processing tomatoes, the use of innovative cultivation strategies ensures a high yield and high quality of the vegetables. However, very high losses occur in the tomato harvest due to reasons such as incorrect harvest management and improper transport conditions. The main objective of breeding programmes and cultivation today is to improve the fruit quality of the cultivated varieties. Fruit size, shape, firmness, color, brix, nutritional content and taste are the most important characteristics (Fridman et al., 2000; Ronga et al., 2019).

High yield and quality of fruit in the cultivation of processing tomato are also depend on the fertilization, as well as the selection of a suitable variety (Dumas et al., 2003; Bettiol et al., 2004). The use of new varieties has increased the amount of nitrogen, phosphorus, and potassium applied to a unit area (Alloway, 2009). High phosphorus accumulation in the soil negatively affects zinc uptake, causing zinc deficiency in plants. (Mousavi, 2011). This condition, which is being called as hidden hunger, is primarily causing significant losses in yield and quality (Alloway, 2009). Zinc is vital role for higher yield and fruit quality of tomato (Ahmed et al., 2021). Previous studies have shown that zinc improves tomato yield and fruit quality (Nawaz et al., 2012; Saravaiya et al., 2014; Harris & Mathuma, 2015; Ullah et al., 2015; Singh et al., 2017; Haleema et al., 2018).

Zinc (Zn) ensures the realisation of significant physiological processes in plants, even in very low concentrations. Zn plays a key role in photosynthesis and carbohydrate metabolism, activation of enzymes, gene transcription, growth regulation, seed germination, and especially protein synthesis (Marschner, 2012). Therefore, zinc is one of the important microelements that should be present in crops such as the tomato, as it influences yield and quality.

One of the countries where zinc deficiency is most common in terms of agricultural lands is Türkiye (Alloway, 2009). Studies on zinc tend to focus on grains. Türkiye is one of the most important producers of processing tomato in the world (Anonymous, 2020a). In this sense, the absence of such a study is considered an important deficiency. This study, the effects of zinc fertilization on the yield and fruit quality of three processing tomato varieties (Kendras F1, Lalin F1, and H-1015 F1) widely grown in Türkiye were investigated.

MATERIALS and METHODS

Plant material

In the study, H-1015, Kendras, and Lalin processing tomato varieties were used. All three varieties are extensively grown in the Torbalı district of İzmir, Türkiye. The fruit quality characteristics of the varieties and their resistance to biotic stress conditions differ from each other (Table 1).

Table 1. Fruit quality characteristics of the varieties and their tolerances to biotic stress conditions

Çizelge 1. Çeşitlerin meyve kalite özellikleri ve biyotik stres koşullarına dayanıklılıkları

Variety	Average fruit weight (g)	Paste	Peel	Dice	Ve	Fol			N	TSWV	Pst	Pi
						0	1	2				
H-1015	80	x	x	x	x	x	x	x				
Kendras	75–80	x		x	x	x	x		x			x
Lalin	65–70	x		x	x	x	x		x	x	x	

Ve = *Verticillium* spp., Fol = *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* (0, 1 and 2), N = Root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*, *arenaria*, *javanica*), TSWV = *Tomato Spotted Wilt Virus*, Pst = *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*, Pi = *Phytophthora infestans*

H-1015 has an approximate average fruit weight of 80 g and is resistant to *Verticillium* spp. 1, *Fusarium* spp. 1 and 2, root-knot nematode, and bacterial spot disease; it has a brix value of 5.2, and is suitable for use in peeled, diced and paste form (Anonymous, 2020b). Kendras has an approximate average fruit weight of 75–80 g and shows high resistance to the diseases *Verticillium albo-atrum*, *Verticillium dahliae*, *Fusarium* spp. 0 and 1 and normal resistance to root-knot nematode, and late blight. It is suitable for use in the form of paste, cubes, and dried products (Anonymous, 2020c). Lalin has an approximate average fruit weight of 65–70 g and it has high resistance to TSWV, bacterial spot, *Fusarium* spp. 0 and 1, *Verticillium albo-atrum*, and *Verticillium dahliae*, and normal resistance to root-knot nematodes (Figure 1) (Anonymous, 2020d).

The seedlings of the varieties used in the experiment were obtained from TAT Gıda A.Ş. Torbalı Enterprise (Torbalı, İzmir, Türkiye).



Figure 1. Three fruits representative of the processing tomato varieties used in the experiment: H-1015, Kendras, and Lalin.

Şekil 1. Denemede kullanılan domates çeşitlerine ait temsili meyve görünüşleri: H-1015, Kendras ve Lalin.

Field conditions and experimental design

The study was conducted in 2017 (38°06'18.0 "N 27°28'21.8 "E) and 2018 (38°06'29.1 "N 27°29'04.9 "E) under field conditions at Gülcüoğlu Farm in Torbalı district of İzmir province. The area where the trial was carried out had a typical Mediterranean climate and in both years of the trial, the minimum and maximum air temperatures from seedling stage to harvest were measured between 6.2 and

41.3 degrees centigrade. The average relative humidity ranged from 51.6% to 63.4% in both years, from seedling stage to harvest (Table 2).

Table 2. Climatic data of the of experimental area

Çizelge 2. Çalışma alanına ait iklim verileri

Temperature	2017				2018			
	Months				Months			
	April	May	June	July	April	May	June	July
T max (°C)	30.0	32.8	39.8	41.3	26.1	30.5	33.0	35.7
Average T (°C)	16.4	21.6	26.2	29.4	19.3	23.9	26.8	29.7
T min (°C)	6.2	13.7	17.6	20.3	12.4	18	20.7	23.3
Average RH (%)	54	53.7	51.6	43.8	63.4	59.3	55.6	53.4

T = temperature, max = maximum, min = minimum, RH= relative humidity

Prior to establishment of the experiment, soil samples were obtained from 0–30 cm depth in the autumn season, in both years, and their analysis is given at Table 3.

Table 3. Physical and chemical soil characteristics of the experimental area

Çizelge 3. Deneme alanı toprağının fiziksel ve kimyasal özellikleri

Soil characteristics	2017	2018	Methods	Reference
	Result	Result		
pH	6.89	7.34	1: 2.5 soil-water suspension	Horneck et al. (1989)
Salt (%)	0.005	0.009	1: 2.5 soil-water suspension	Horneck et al. (1989)
CaCO ₃ (%)	0.4	2	Calcimetric	Martin and Reeve (1955)
Organic matter content (%)	0.77	1.04	Walkley - Black	Walkley and Black (1934)
Total N (%)	0.04	0.05	Kjeldahl	Kacar (2009)
Sand (%)	40	20	Hydrometer	Bouyoucos (1962)
Clay (%)	20	20	Hydrometer	Bouyoucos (1962)
Silt (%)	40	60	Hydrometer	Bouyoucos (1962)
Soil texture class	Loamy	Silty loam	Soil Textural triangle (USDA)	Soil Survey Division Staff. (1993)
Available P (ppm)	2.98	9.79	0.5 M NaHCO ₃ extraction	Olsen (1954)
Available K (ppm)	169	179	1 N NH ₄ OAc (pH 7.0)	Chapman (1965)
Available Ca (ppm)	442	1363	1 N NH ₄ OAc (pH 7.0)	Chapman (1965)
Available Mg (ppm)	89	240	1 N NH ₄ OAc (pH 7.0)	Chapman (1965)
Fe (ppm)	38	15.38	DTPA-TEA (pH 7.3)	Lindsay and Norvell, (1978)
Cu (ppm)	1.47	2.12	DTPA-TEA (pH 7.3)	Lindsay and Norvell, (1978)
Zn (ppm)	0.85	0.83	DTPA-TEA (pH 7.3)	Lindsay and Norvell, (1978)
Mn (ppm)	4.28	3.03	DTPA-TEA (pH 7.3)	Lindsay and Norvell, (1978)

The soil pH of the experimental area is neutral, and there was no salinity problem in both production seasons. Organic matter is low in both years. Total nitrogen (N) was found to be poor, and available potassium (K) was found to be at medium level. Although the available phosphorus (P) was very low in the first year, it was determined as high in the second year. Zinc (Zn) was determined at a critical level in both years, and the other microelements (iron, copper, and manganese) were determined as sufficient (Table 3).

Based on the results of the soil analysis, fertilization programs were prepared, with consideration given to the target yield (Tables 4 & 5). In this context, semi-fertigation (basic fertilization and fertigation) was applied in fertilization (Table 6).

Table 4. Basic fertilizers applied to the experimental plots**Çizelge 4.** Deneysel parsellerine uygulanan temel gübreler

Year	Fertilizer	Rate (kg ha ⁻¹)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
2017	NPK (15-15-15)	750	112.5	112.5	112.5	-	-
	CAN (26% N)	120	31.2	-	-	-	-
	K ₂ SO ₄	50	-	-	25	-	-
	H ₃ BO ₃	7.5	-	-	-	-	-
Total			143.7	112.5	137.5	-	-
Year	Fertilizer	Rate (kg ha ⁻¹)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
2018	NPK (15-15-15)	750	112.5	112.5	112.5	-	-
	CAN (26% N)	120	31.2	-	-	-	-
	K ₂ SO ₄	50	-	-	25	-	-
	H ₃ BO ₃	7.5	-	-	-	-	-
Total			143.7	112.5	137.5	-	-

Table 5. Fertilizers used in the fertigation.**Çizelge 5.** Fertigasyonda kullanılan gübreler

Year	Fertilizer	Rate (kg ha ⁻¹)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
2017	MAP	40.00	4.80	24.4	-	-
	MKP	30.00	-	15.6	10.2	-
	33% N	150.00	49.5	-	-	-
	K ₂ SO ₄	120.00	-	-	60.0	-
	Ca (NO ₃) ₂	80.00	12.4	-	-	20.8
	Urea (46% N)	40.00	18.4	-	-	-
Total			85.1	40.0	70.2	20.8
Year	Fertilizer	Rate (kg ha ⁻¹)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
2018	MAP	40.0	4.80	24.4	-	-
	MKP	30.0	-	15.6	10.2	-
	AN (33% N)	140.0	46.2	-	-	-
	K ₂ SO ₄	120.0	-	-	60.0	-
	Ca(NO ₃) ₂	70.0	10.9	-	-	18.2
	Urea (46% N)	40.0	18.4	-	-	-
Total			80.3	40.0	70.2	18.2

In this context, 750 kg ha⁻¹ NPK (15-15-15) was applied to all plots in the experiment area at the start of the two production seasons, one week before planting the seedlings. In addition, 3.5 kg ha⁻¹ of herbicide (pendimethalin) was applied to all plots. Fertilizer and herbicide were mixed into the soil with a rotary tiller. 120 kg ha⁻¹ calcium ammonium nitrate (CAN), 50 kg ha⁻¹ potassium sulphate (K₂SO₄ with low pH) and 7.5 kg ha⁻¹ boron (H₃BO₃ - water-soluble boron 20.8%) were used as basic fertilizers in both years. To the zinc treatment parcels, 20 kg ha⁻¹ of zinc sulphate (ZnSO₄.7H₂O) was soil applied. On the control plot, defined as the grower's condition, the grower had applied 750 kg ha⁻¹ NPK over the soil and 2 L tonne⁻¹ GA₃ over the leaf in both experimental years.

Table 6. Fertigation programme**Çizelge 6.** Fertigasyon programı

Fertilizer	Fertigation (kg / ha / month)					
	2017			2018		
	May (kg ha ⁻¹)	June (kg ha ⁻¹)	July (kg ha ⁻¹)	May (kg ha ⁻¹)	June (kg ha ⁻¹)	July (kg ha ⁻¹)
MAP	40	-	-	40	-	-
MKP	-	30	-	-	30	-
AN (% 33)	20	80	50	30	70	40
K ₂ SO ₄	20	50	50	20	50	50
Ca (NO ₃) ₂	10	40	30	20	30	20
Urea	-	40	-	-	40	-

The seedlings were planted in a single row in the first week of April in both trial years. The seedlings of all three varieties were planted at 2.9 plants per m². Seedlings were planted using a machine with a spacing of 1.4 m between rows and 0.25 m between intra-rows. The experiment was established in randomized blocks design with three different treatments (zinc, zinc- free and control), 3 replicates and 3 varieties; in total 27 parcels (H-1015, Kendras, and Lalin),. Each parcel had 100 plants in four rows, having a length of 6.25 m. and width of 4.2 m.

The irrigation of the experimental plot was carried out using the drip irrigation method. Irrigation was performed once or twice a week, depending on the evaporation rate (ET₀) and the development of the plants. Disease and weed control were carried out as in the former studies (Vural et al., 2000; Nas et al., 2017). Harvest was made when most of the fruits were fully ripened (> 85%) (on 20 July 2017 and 16 July 2018).

Yield and quality characteristics evaluated in the experiment

Data regarding the results of the experiment were obtained from the middle two rows (50 plants) of the plots. The yield per plant (kg plant⁻¹) was determined by dividing total product yield obtained from the plot by the number of plants present .Total yield per hectare (t ha⁻¹) was also determined. The yield of the paste (t ha⁻¹) with a Brix content of 28% was calculated using the yield values and the Brix values obtained from the results of the applications (Vural et al., 2000).

Fruit skin color was measured at the equatorial area on both sides of 10 fruit using a colorimeter (CR-400; Minolta Co., Tokyo, Japan). The average scores were recorded regarding CIEL L* a* b* values (McGuire, 1992). The color measurement was done using the same approach from the fruit pulp samples obtained by splitting the fruit after determining the color values of the fruit.

Brix (%) was determined using a digital refractometer (Atago PAL-1, Japan), with the filtrate (pulp) obtained from the fruit (which were parted by a fruit press) by filtering through the filter paper.

Titrateable acidity (TA) was determined by titrating 5 mL of the juice with 0.1 N NaOH to a pH of 8.1. The results were expressed in grams of malic acid per 100 mL of fruit juice by the Association of Official Agricultural Chemists (AOAC) standards.

The pH was measured in filtered fruit juice using a digital pH meter with a glass electrode (Mettler-Toledo MP220, Switzerland). The EC value was determined in filtered fruit juice using a conductivity meter (WTW-İnoLab TetraCan[®] 325).

Lycopene was measured spectrophotometrically (Varian Cary 100 Bio UV-Visible Spectrophotometer, Australia) with a color wavelength of 503 nm, present in the extract from the treated tomato sample homogenized with acetone used as a solvent. The results were expressed in mg kg⁻¹ and calculated using the following formula (Davis et al., 2003).

$$\text{Lycopene (mg kg}^{-1} \text{ fresh weight)} = A_{503} * 62.43 / W$$

Where: W = the exact weight (g) of tomato added; A₅₀₃ = the absorbance value at 503 nm

Statistical analysis

Analyses of variance were performed using JMP 8 statistical software (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) for the data obtained from the experiment. Student's t-test was used to compare the mean values from both years.

RESULTS and DISCUSSION

Yield

There were significant differences among the treatments in both years (Table 7). The highest of the yield values (yield per plant and total yield) obtained from different variety-treatment combinations was acquired from the control and zinc-free treatment of Kendras variety in both years. The lowest yield values (yield per plant and total yield) were determined from the zinc-free and control treatments of the H-1015 variety (Table 7). However, zinc treatment showed beneficial effects on H-1015 and Lalin cultivars' yield values in both production seasons. With the H-1015 variety, the zinc treatment ranked first in both the first and the second years, with 133.46 t ha^{-1} (zinc-free = 124.63 t ha^{-1} , control = 132.59 t ha^{-1}) and 173.88 t ha^{-1} (zinc-free = 135.24 t ha^{-1} , control = 133.46 t ha^{-1}) respectively. Similarly, with the Lalin variety, the zinc treatment ranked first in both the first and the second years, with 158.93 t ha^{-1} in the first year (zinc-free = 133.03 t ha^{-1} , control = 128.38 t ha^{-1}) and 191.33 t ha^{-1} in the second year (zinc-free = 145.60 t ha^{-1} , control = 137.01 t ha^{-1}) (Table 7).

Table 7. Effect of applications on yield in 2017 and 2018 seasons

Çizelge 7. 2017 ve 2018 sezonlarında uygulamaların verim değerlerine etkisi

Variety	Treatments	2017			2018		
		Plant yield (kg plant ⁻¹)	Total yield (t ha ⁻¹)	Paste output yield (t ha ⁻¹)	Plant yield (kg plant ⁻¹)	Total yield (t ha ⁻¹)	Paste output yield (t ha ⁻¹)
H-1015	+ Zn	5.60±0.28 ^c	133.46±6.62 ^{bc}	25.13±1.62 ^c	6.21±0.26 ^{bc}	173.88±7.27 ^{bc}	39.56±2.34 ^a
	- Zn	5.32±0.11 ^c	124.63±2.64 ^{bc}	23.72±0.09 ^c	4.83±0.30 ^d	135.24±8.28 ^d	27.67±1.55 ^{bcd}
	Control	5.57±0.19 ^c	132.59±4.44 ^{bc}	24.13±0.68 ^c	4.76±0.04 ^d	133.46±1.26 ^d	24.93±0.53 ^{cd}
Mean		5.50	130.23	24.33	5.27	147.53	30.72
Lalin	+ Zn	6.67±0.06 ^b	158.93±1.36 ^b	29.33±0.97 ^{bc}	6.83±0.68 ^{ab}	191.33±11.22 ^{ab}	31.31±2.93 ^b
	- Zn	5.58±0.20 ^c	133.03±4.71 ^{bc}	23.50±1.73 ^c	5.20±0.19 ^{cd}	145.60±19.08 ^{cd}	24.30±3.32 ^d
	Control	5.39±0.62 ^c	128.38±14.84 ^{bc}	22.06±2.14 ^c	4.89±0.22 ^d	137.01±5.32 ^d	23.91±0.20 ^d
Mean		5.58	140.11	24.96	5.64	157.98	26.51
Kendras	+ Zn	8.39±0.25 ^a	199.87±6.03 ^a	33.57±1.42 ^{ab}	6.15±0.22 ^{bc}	172.38±6.30 ^{bc}	30.16±2.64 ^{bc}
	- Zn	8.48±0.05 ^a	201.90±1.09 ^a	35.81±0.57 ^{ab}	7.36±0.30 ^a	206.26±8.51 ^a	32.35±0.76 ^b
	Control	9.16±0.16 ^a	218.01±3.69 ^a	37.65±1.53 ^a	4.95±0.22 ^d	138.60±6.10 ^d	23.96±1.50 ^d
Mean		8.68	206.59	35.68	6.15	172.41	28.82
p		0.037	0.037	0.037	0.0049	0.0049	0.0212

*: Means in the same column followed by the same letter(s) are not significantly different ($p \leq 0.05$) according to Student's t-test.

The higher yields obtained by zinc treatment in the varieties Lalin and H-1015 can be attributed to the fact that the plants benefited from more nutrients. Haleema et al. (2018) reported that maximum tomato fruits per plant were attained from foliar application of Zn. Ullah et al. (2015) also reported that maximum yield (23.40 t ha^{-1}) was obtained from the application of 0.4% Zn foliar spray. A previous study reported that ZnSO_4 as soil and foliar application treatment increased tomato yield (Prasad et al., 2021). Similarly, Saravaiya and colleagues (2014) showed that maximum fruit yield were obtained from Zn fertilization. Findings in our study are in good harmony with the earlier studies of zinc sulfate treatments either applied to the soil and or to the foliage (Dube et al., 2003; Gurmani et al., 2012; Bashir & Manan, 2012; Shnain et al., 2014; Ali et al., 2015; Sultana et al., 2016).

The reason for the increase in plant development and yield as a result of the zinc-containing treatment could be due to the fact that zinc stimulates the plant's metabolism, increases auxin synthesis in the plant and ensures better nutrient uptake (Cakmak et al., 1999). Agrawal et al. (2010) reported that the application of zinc maximised the uptake of N, P, K, Cu and Fe in tomato.

These authors also stated that this condition was activated because the plant roots benefited from more nutrients. This is due to the increased photosynthesis and the positive effects of root development resulting from the formation of more green parts in the plant owing to the zinc supplied via the soil (Gurmai et al., 2012).

Fruit quality

Although the differences between the pulp color values of the tomato, L* and a/b, were found to be insignificant in both years, the values of a* and b* were found to be significant in both years (Table 8). In the first year, the highest a* value (30.65) was obtained by the Kendras variety from the zinc treatment, and in the second year, the highest a* value (27.65) was obtained by the H-1015 variety from the control treatment. However, the lowest a* value (21.14) was obtained by the variety Lalin from the zinc-free treatment, and in the second year, the lowest a* value (15.19) was obtained by the variety Kendras from the control treatment. When we examined the b* values of the pulp colour, the highest values (22.03 and 18.63) were obtained in both years by the Kendras variety in the zinc treatment and by the H-1015 variety in the control treatment, respectively.

The lowest values (14.27–6.79) were obtained in both years in the Lalin variety by the zinc treatment (Table 8). In this regard, no stable results were obtained regarding the effect of the interaction between variety and treatment on pulp color. Similar results were also obtained in the previous studies conducted in the Torbalı district (Nas et al., 2017, 2018).

Table 8. Effect of zinc treatments on the color values of tomato pulp

Çizelge 8. Çinko uygulamalarının domates pulp rengi değerlerine etkisi

Variety	Treatments	2017				2018			
		L*	a*	b*	a/b	L*	a*	b*	a/b
H-1015	+ Zn	50.86±0.79 ^{ns}	21.49±0.84 ^c	14.34±0.96 ^c	1.50±0.06 ^{ns}	44.64±1.17 ^{ns}	26.87±1.72 ^a	15.43±1.02 ^a	1.74±0.04 ^{ns}
	- Zn	51.37±0.68	22.77±0.79 ^{bc}	16.30±0.79 ^{abc}	1.39±0.02	41.25±0.42	21.21±0.41 ^{ab}	13.16±0.11 ^{ab}	1.61±0.03
	Control	52.32±4.01	24.10±1.08 ^{abc}	16.46±1.51 ^{abc}	1.47±0.08	44.35±1.15	27.65±2.52 ^a	18.43±2.95 ^a	1.51±0.09
Mean		51.52	22.79	15.70	1.45	43.41	25.24	15.67	1.62
Lalin	+ Zn	50.91±2.10	21.15±0.41 ^c	14.27±1.04 ^c	1.49±0.11	40.53±0.52	12.42±0.94 ^c	6.79±0.62 ^c	1.83±0.03
	- Zn	52.28±2.09	21.14±2.08 ^c	15.31±1.31 ^{bc}	1.37±0.02	40.78±1.73	12.81±0.57 ^c	7.05±0.84 ^c	1.85±0.18
	Control	46.78±1.30	29.45±1.99 ^{ab}	21.07±1.11 ^{ab}	1.39±0.03	44.11±3.39	22.77±4.64 ^a	13.51±3.81 ^{ab}	1.81±0.24
Mean		49.99	23.91	16.88	1.42	41.81	16.00	9.12	1.83
Kendras	+ Zn	45.85±2.03	30.65±0.41 ^a	22.03±0.95 ^a	1.39±0.07	42.98±1.41	22.77±2.03 ^a	14.72±1.37 ^a	1.55±0.07
	- Zn	51.76±1.01	27.91±1.04 ^{abc}	18.62±1.74 ^{abc}	1.51±0.09	45.93±0.040	23.51±3.54 ^a	15.68±2.69 ^a	1.51±0.04
	Control	54.01±1.84	27.15±2.26 ^{abc}	18.83±1.42 ^{abc}	1.43±0.02	41.55±0.07	15.19±0.83 ^{bc}	8.27±0.24 ^{bc}	1.83±0.05
Mean		50.54	28.57	19.83	1.44	43.49	20.49	12.89	1.63
p		0.0589	0.0065	0.013	0.2714	0.0552	0.006	0.0064	0.1578

*: Means in the same column followed by the same letter(s) are not significantly different ($p \leq 0.05$) according to Student's *t*-test.

ns: Not significant

The findings in the 2017 year showed that the effect of variety × treatment interaction on pH was significant; on the other hand, the effects on titratable acidity (TA), Brix value and lycopene contents were insignificant. In the second year, the effect of variety × treatment interaction on pH, Brix and lycopene amount was significant, but the effect on TA amount was not significant (Table 9). In this respect, the lowest

pH values were measured in the variety Kendras in both of the study years. These values were 4.81 for the zinc-containing treatment in the first year and 4.74 for the zinc-free treatment in 2018 (Table 9).

Previous studies have shown that zinc sulfate fertilizer has a significant impact on the quality of the tomato. Kazemi (2013) reported that the highest fruit lycopene content, titratable acidity, pH, and Brix were observed from the treatment of a combined foliar spray consisting of Zn and Fe. Swetha and colleagues (2018) reported that the maximum Brix, acidity, and ascorbic acid were found by the application of zinc sulfate along with copper boron, and iron. However, Ejaz et al. (2011) discovered that the foliar application of Zn (6%), B (5%), and N (2%), individually, titratable acidity content, and total soluble solids (TSS) presented extraordinary results.

The reason why the Kendras variety has a lower pH value than the other two varieties is that it ripens later than the H-1015 and Lalin varieties due to the pH of the tomato fruit increasing with ripening. Nas et al. (2018) reported that pH at two different harvest dates, namely the first and second harvest of processing tomatoes grown in three different soil types, indicated an increase at the second harvest. Similar to this, Anthon et al. (2011) showed in their research how late harvesting affected the fruit pH and TA in four varieties of processed tomatoes (H2401, N6368, H9557 and AB2). According to their results, the pH increased as the fruit maturation and increased by 0.01 to 0.02 per day when the harvest was postponed. Our results were in agreement with these studies.

Table 9. Effect of treatments on quality characteristics in 2017 and 2018.

Çizelge 9. 2017 ve 2018 sezonlarında uygulamaların kalite özelliklerine etkisi

Variety	Treatments	2017				2018			
		pH	TA (g /100 ml)	Brix (%)	Lycopene (mg kg ⁻¹)	pH	TA (g /100 ml)	Brix (%)	Lycopene (mg kg ⁻¹)
H-1015	+ Zn	5.10±0.01 ^{a*}	0.35±0.02 ^{ns}	5.26±0.13 ^{ns}	47.00±11.46 ^{ns}	4.90±0.03 ^b	0.31±0.02 ^{ns}	6.36±0.22 ^a	41.83±4.09 ^c
	- Zn	5.00±0.03 ^{abc}	0.35±0.01	5.33±0.09	73.24±4.48	4.97±0.01 ^{ab}	0.32±0.00	5.73±0.03 ^b	47.40±4.34 ^c
	Control	5.02±0.03 ^{ab}	0.36±0.01	5.10±0.06	60.84±3.22	4.93±0.01 ^b	0.29±0.00	5.23±0.15 ^{bc}	66.25±0.27 ^{ab}
	Mean	5.04	0.35	5.23	60.36	4.93	0.31	5.77	51.83
Lalin	+ Zn	4.94±0.040 ^{bcd}	0.40±0.01	5.16±0.15	70.61±12.43	5.02±0.03 ^a	0.37±0.01	4.56±0.18 ^d	47.65±4.08 ^c
	- Zn	4.92±0.01 ^{bcd}	0.34±0.00	4.93±0.19	42.32±10.02	4.94±0.03 ^b	0.34±0.01	4.66±0.03 ^d	70.30±2.97 ^a
	Control	4.86±0.02 ^d	0.36±0.01	4.83±0.09	48.69±6.58	4.83±0.01 ^c	0.34±0.02	4.90±0.15 ^{cd}	64.32±3.58 ^{ab}
	Mean	4.91	0.37	4.97	53.87	4.93	0.35	4.71	60.76
Kendras	+ Zn	4.81±0.01 ^d	0.37±0.01	4.70±0.06	46.23±6.93	4.81±0.01 ^c	0.35±0.02	4.90±0.38 ^{cd}	70.11±3.13 ^a
	- Zn	4.82±0.01 ^d	0.37±0.01	4.96±0.09	46.47±11.52	4.74±0.03 ^d	0.37±0.02	4.40±0.10 ^d	73.13±3.54 ^a
	Control	4.87±0.03 ^{cd}	0.35±0.01	4.83±0.13	46.67±4.13	4.68±0.02 ^d	0.36±0.01	4.83±0.09 ^{cd}	58.65±4.12 ^b
	Mean	4.83	0.36	4.83	46.46	4.74	0.36	4.71	67.30
p	0.0398	0.0554	0.2882	0.0899	0.005	0.4563	0.0096	0.0008	

*: Means in the same column followed by the same letter(s) are not significantly different ($p \leq 0.05$) according to Student's *t*-test.

ns: Not significant

CONCLUSIONS

Findings of this study showed that H-1015 and Lalin varieties yield (plant yield, total yield, and paste output yield) the highest when zinc was applied pointing out that these varieties respond better to Zn fertilization. Therefore, zinc fertilization should be considered when cultivating these varieties, taking into account the soil analysis results.

In both of the study years and for all varieties, different fruit and pulp results (L*, a*, b*, and a/b) were obtained zinc treatment caused a significant difference in both fruit and pulp color. Low pH and high lycopene contents of the fruits were not affected by zinc treatment in all the three varieties. In detail, this means that the zinc treatment does not end up by positive results to achieve low pH and high lycopene in the cultivation of H-1015, Lalin, and Kendras.

According to these results, zinc fertilization could be performed to obtain a high yield when cultivating the varieties H-1015 and Lalin.

Data Availability

Data will be made available upon reasonable request.

Author Contributions

Conception and design of the study: YN, İD; sample collection: YN; analysis and interpretation of data: YN, İD; statistical analysis: YN; visualization: YN, İD; writing manuscript: YN, İD.

Conflict of Interest

There is no conflict of interest between the authors in this study.

Ethical Statement

We declare that there is no need for an ethics committee for this research.

Financial Support

This study was financially supported by Ege University Scientific Research Projects Coordination (BAP, Project No; 2018-ZRF-003). The authors thank the financial support.

Article Description

This article was edited by Section Editor Dr. Emrah Zeybekoğlu.

REFERENCES

- Agrawal, B., A. Shrivastava & N. Harmukh, 2010. Effect of irrigation methods and micronutrients on nutrient uptake of tomato F1 hybrid avinash-2. *International Journal of Current Trends in Science and Technology*, 1: 20-26.
- Ahmed, R., M. Yusoff Abd Samad, M. K. Uddin, M. A. Quddus & M. M. Hossain, 2021. Recent trends in the foliar spraying of zinc nutrient and zinc oxide nanoparticles in tomato production. *Agronomy*, 11: 2074. <https://doi.org/10.3390/agronomy11102074>
- Ali, M. R., H. Mehraj & A. F. M. Jamal Uddin, 2015. Effects of foliar application of zinc and boron on growth and yield of summer tomato. *Journal of Bioscience and Agriculture Research*, 6: 512-517. <http://dx.doi.org/10.18801/jbar.060115.61>
- Alloway, B. J., 2009. Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. *Environmental Geochemistry and Health*, 31: 537-548. <https://doi.org/10.1007/s10653-009-9255-4>
- Anonymous, 2020a. WPTC, World Processing Tomato Council. (Web page: <https://www.wptc.to/>) (Date accessed: 4 April 2020).
- Anonymous, 2020b. HeinzSeed Tomato. (Web page: <https://www.heinzseed.com/product/100004200011/H1015-EFS>) (Date accessed: 4 April 2020).
- Anonymous, 2020c. Bayer Nunhems Vegetable Seeds- Seed Catalogue. (Web page: https://issuu.com/sczorlu/docs/catalogue_lowres_2) (Date accessed: 4 April 2020).
- Anonymous, 2020d. May Seed Tomato. (Web page: <http://www.may.com.tr/en/products/tomato>) (Date accessed: 4 April 2020).
- Anthon, G. E., M. LeStrange & D. M. Barrett, 2011. Changes in pH, acids, sugars and other quality parameters during extended vine holding of ripe processing tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91: 1175-1181. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4312>

- Bashir, F. & A. Manan, 2012. Efficacy of zinc with nitrogen as foliar feeding on growth, yield and quality of tomato grown under poly tunnel. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 49: 331-333.
- Bettiol, W., R. Ghini, J. A. H. Galvão & R. C. Siloto, 2004. Organic and conventional tomato cropping systems. *Scientia Agricola*, 61: 253-259. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162004000300002>
- Bouyoucos, G. J., 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1. *Agronomy Journal*, 54: 464-465.
- Cakmak, I., M. Kalaycı, H. Ekiz, H. J. Braun, Y. Kiliñç & A. Yılmaz, 1999. Zinc deficiency as a practical problem in plant and human nutrition in Turkey: a NATO-science for stability project. *Field Crops Research*, 60: 175-188. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(98\)00139-7](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00139-7)
- Chapman, H. D., 1965. "Cation-Exchange Capacity". In: Black, C.A., Ed., *Method of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties*, ASA, Madison, 891-900.
- Davis, A. R., W. W. Fish & P. Perkins-Veazie, 2003. A rapid spectrophotometric method for analyzing lycopene content in tomato and tomato products. *Postharvest Biology and Technology*, 28: 425-430. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(02\)00203-X](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00203-X)
- Dube, B. K., P. Sinha & C. Chatterjee, 2003. Effect of zinc on yield and quality of tomato. *Indian Journal of Horticulture*, 60: 59-63.
- Dumas, Y., M. Dadomo, G. Di Lucca & P. Grolier, 2003. Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83: 369-382. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1370>
- Ejaz, M., R. Waqas, M. Butt, S. U. Rehman & A. Manan, 2011. Role of macro-nutrients and micro-nutrients in enhancing the quality of tomato. *International Journal of Agriculture and Veterinary Sciences*, 5: 401-404.
- FAOSTAT, 2020. FAOSTAT Statistics. (Web page: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>) (Date accessed: 24 March 2020).
- Foolad, M. R., 2007. Genome mapping and molecular breeding of tomato. *International Journal of Plant Genomics*, 1-52. <https://doi.org/10.1155/2007/64358>
- Fridman, E., T. Pleban & D. Zamir, 2000. A recombination hotspot delimits a wild-species quantitative trait locus for tomato sugar content to 484 bp within an invertase gene. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 97: 4718-4723. <https://doi.org/10.1073/pnas.97.9.4718>
- Grandillo, S., D. Zamir & S. D. Tanksley, 1999. Genetic improvement of processing tomatoes: A 20 years perspective. *Euphytica*, 110: 85-97. <https://doi.org/10.1023/A:1003760015485>
- Gurmani, A. R., S. U. Khan, R. Andaleep, K. Waseem & A. Khan, 2012. Soil application of zinc improves growth and yield of tomato. *International Journal of Agriculture & Biology*, 14: 91-96.
- Haleema, B., A. Rab & S. A. Hussain, 2018. Effect of calcium, boron and zinc foliar application on growth and fruit production of tomato. *Sarhad Journal of Agriculture*, 34: 19-30.
- Harris, K. D. & V. Mathuma, 2015. Effects of foliar application of boron and zinc and their combinations on the quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *European Academic Research*, 3: 1097-1112.
- Horneck, D. A., J. M. Hart, K. Topper & B. Koepsell, 1989. *Methods of Soil Analysis Used in the Soil Testing Laboratory at Oregon State University*.
- Kacar, B., 2009. *Toprak analizleri*. Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 467 s.
- Kazemi, M., 2013. Effects of Zn, Fe and their combination treatments on the growth and yield of tomato. *Bulletin of Environment, Pharmacology. Life Sciences*, 3: 109-114.
- Lindsay, W. L. & W. Norvell, 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42: 421-428.
- Marschner, H., 2012. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*, 3rd Edition, Elsevier/Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-63043-9>
- Martin, A. E. & R. Reeve, 1955. A rapid manometric method for determining soil carbonate. *Soil Science*, 79: 187-198.
- McGuire, G. R., 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27: 1254-1255. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.12.1254>

- Mousavi, S. R. 2011. Zinc in crop production and interaction with phosphorus. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5: 1503-1509.
- Nas, Y., B. Türk, İ. Duman, F. Şen & Ö. Tuncay, 2018. The effect of different type soils on fruit pH, yield and some quality properties in processing tomato production. *Journal of Agriculture Faculty of Ege University*, 55: 311-317. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.394142>
- Nas, Y., İ. Duman & M. A. Ul, 2017. The influence of final irrigation treatments on yield and fruit quality for processing tomatoes cultivated in different soil types. *Journal of Agriculture Faculty of Ege University*, 54: 223-230. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.387334>
- Nawaz, H., M. Zubair & H. Derawadan, 2012. Interactive effects of nitrogen, phosphorus and zinc on growth and yield of tomato (*Solanum lycopersicum*). *African Journal of Agricultural Research*, 7: 3792-3769.
- Olsen, S. R., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate (No. 939). US Department of Agriculture.
- Prasad, P. S., C. T. Subbarayappa, A. Sathish, & V. Ramamurthy, 2021. Impact of zinc fertilization on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) yield, zinc use efficiency, growth and quality parameters in Eastern Dry Zone (EDZ) soils of Karnataka, India. *International Journal of Plant & Soil Science*, 33: 20-38.
- Ronga, D., E. Francia, F. Rizza, F. W. Badeck, F. Caradonia, G. Montevecchi & N. Pecchioni, 2019. Changes in yield components, morphological, physiological and fruit quality traits in processing tomato cultivated in Italy since the 1930's. *Scientia Horticulturae*, 257: 108726. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108726>
- Saravaiya, S. N., P. B. Jadhav, S. S. Wakchaure, N. B. Harad, N. B. Patil, S. S. Dekhane & D. J. Patel, 2014. Influence of foliar application of micronutrients on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv." Gujarat Tomato 2". *International Journal of Tropical Agriculture*, 32: 451-458.
- Shnain, R. S., V. M. Prasad & S. Saravanan, 2014. Effect of zinc and boron on growth, yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum*. Mill) cv. Heem Sohna, under protected cultivation *European Academic Research*, 2: 78-79.
- Singh, B., S. Kaseera, S. K. Mishra, S. Roy, S. Rana & D. Singh, 2017. Growth, yield and quality of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*) as influenced by foliar application of zinc and boron. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6: 911-914.
- Soil Survey Division Staff, 1993. *Soil Survey Manual*. Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture Handbook 18, Chapter 3.
- Sultana, S., H. M. Naser, S. Akhter & R. A. Begum, 2016. Effectiveness of soil and foliar applications of zinc and boron on the yield of tomato. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 41: 411-418. <https://doi.org/10.3329/bjar.v41i3.29712>
- Swetha, K., S. Saravanan & L. N. Banothu, 2018. Effect of micronutrients on fruit quality, shelf life and economics of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Pkm-1. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7: 3018-3020.
- Ullah, R., G. Ayub, M. Ilyas, M. Ahmad, M. Umar, S. Mukhtar & S. Farooq, 2015. Growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) as influenced by different levels of zinc and boron as foliar application. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 15: 2495-2498.
- Vural, H., D. Eşiyok & İ. Duman, 2000. *Culture Vegetables: Vegetable Growing* (in Turkish). Ege University Printing House, İzmir.
- Walkley, A. & I. A. Black, 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38.



Research Article
(Araştırma Makalesi)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2024, 61 (3):297-305
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1385019>

Siti Hajrah ARIF^{1*}

Feranita HARING²

Muhammad RIADI³

¹ Hasanuddin University, Faculty of Agriculture, Agrotechnology Master Program, 90245, Makassar, South Sulawesi, Indonesia

² Hasanuddin University, Faculty of Agriculture, Agronomy Department, 90245, Makassar, South Sulawesi, Indonesia

³ Hasanuddin University, Faculty of Agriculture, Agronomy Department, 90245, Makassar, South Sulawesi, Indonesia

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

Improving growth and productivity of shallot (*Allium ascalonicum* L.) applied using organic and inorganic fertilizer

Organik ve inorganik gübre uygulaması ile şalot soğanının (*Allium ascalonicum* L.) büyüme ve verimliliğinin artırılması

* This article has been summarized from the first author master thesis

Received (Alınış): 03.11.2023

Accepted (Kabul Tarihi): 21.06.2024

ABSTRACT

Objective: This research aims to identify and examine organic and inorganic fertilizer on the growth and productivity of shallots.

Materials and Methods: This study was carried out under field conditions in the research and application fields of Faculty of Agriculture, Hasanuddin University. The main plot is the liquid organic fertilizer (LOF) consisting of control, 10 mL/L, and 20 mL/L. The subplots, namely the zwavelzure ammonium (ZA) fertilizer, consist of control, 50 kg/ha, 100 kg/ha, and 150 kg/ha.

Results: Based on the research conducted, it can be seen that the interaction between the application of LOF (20 mL/L) and ZA fertilizer (150 kg/ha) recorded the highest average fresh bulb weight (145.60 g). Applying LOF (20 mL/L) can increase the average plant height (23.50 cm at 21 days after planting (DAP)), number of leaves (25.60 at 35 DAP), the number of bulbs (10.93), bulb diameter (2.77 cm), production per hectare (21.91 t), and chlorophyll index (20.48) of shallot plants. On the other hand, ZA fertilizer (150 kg/ha) influences plant height (44.03 cm at 42 DAP), number of leaves (26.67), production per hectare (20.96 t), and chlorophyll index (20.64) of shallot plants.

Conclusion: The application of organic and inorganic fertilizers has a significant influence on the growth and production of shallot plants, both in interaction and individually.

ÖZ

Amaç: Bu çalışmanın amacı, şalot soğanının büyüme ve gelişimine organik ve inorganik gübre uygulamalarının etkilerinin araştırılmasıdır.

Materyal ve Yöntem: Bu çalışma, Hasanuddin Üniversitesi Ziraat Fakültesi araştırma ve uygulama alanlarında arazi koşullarında gerçekleştirilmiştir. Ana parsel, kontrol, 10 mL/L ve 20 mL/L'den oluşan sıvı organik gübredir (LOF). Alt parseller, yani amonyum sülfat (ZA) gübresi uygulamaları kontrol, 50 kg/ha, 100 kg/ha ve 150 kg/ha'dan oluşmaktadır.

Araştırma Bulguları: Yapılan araştırmalara göre LOF (20 mL/L) ve ZA gübresi (150 kg/ha) uygulaması ile en yüksek ortalama taze soğan ağırlığı (145,60 g) elde edilmiştir. LOF (20 mL/L) uygulanması ortalama bitki boyunu (Dikimden 21 gün sonra 23,50 cm), yaprak sayısını (Dikimden 35 gün sonra 25,60), soğan sayısını (10,93), soğan çapını (2,77 cm), hektar başına üretimi (21,91 t) ve klorofil indeksini (20,48) artırabilir. Öte yandan, ZA gübresi (150 kg/ha) bitki boyunu (Dikimden 42 gün sonra 44,03 cm), yaprak sayısını (26,67), hektar başına üretimi (20,96 t) ve şalot soğanı bitkilerinin klorofil indeksi (20,64) etkilemiştir.

Sonuç: Organik ve inorganik gübrelerin uygulanması arpacık soğanı bitkilerinin büyümesi ve üretimi üzerinde hem ayrı ayrı, hem de birlikte önemli bir etkiye sahiptir.

Keywords: Fertilizer, growth, inorganic, organic, shallot

Anahtar sözcükler: Gübre, inorganik, organik, arpacık soğanı

INTRODUCTION

Shallots (*Allium ascalonicum* L.) are seasonal vegetables with high economic potential for development. This plant can thrive in tropical and subtropical areas, including Indonesia (Sihombing, 2018). Shallots have good health benefits because they contain antioxidant compounds (Sari, 2016). Apart from that, the shallot is also a primary cooking ingredient with a distinctive aroma and has many benefits as a natural medicine, such as medicine for coughs, fevers, shortness of breath, colds, and increasing appetite. Several studies have proven that shallots have many benefits, including a potent antioxidant and sunscreen profile (Rahayu et al., 2017; Rahayu & Arini, 2018; Octaviani et al., 2019).

Shallot production has not increased due to higher plant productivity thus far; rather, it has only increased as a result of expanded planting area. The low productivity of shallots is due to a cultivation system that still needs to be optimized, which causes an imbalance of nutrients in the soil. So far, many farmers have used high doses of inorganic fertilizers without including organic fertilizers. If this is done for years, it will impact soil fertility, which can decrease soil productivity so that high production cannot be achieved. Therefore, in shallot cultivation, inorganic fertilizer is used by adding liquid organic fertilizer (LOF) so that the quantity can be reduced.

The use of fertilizer utilizing balanced fertilization is an alternative to increase crop production. Organic fertilizer consists mainly or entirely of organic material originating from plants or animals that have undergone an engineering process, which can be formed into a solid or liquid form used to supply organic material (Sharma & Chetani, 2017). Meanwhile, inorganic fertilizer is fertilizer made by fertilizer factories by combining chemicals (inorganic) with high nutrient levels.

The combination of organic fertilizer and inorganic fertilizer aims to work together to increase the growth of shallot plants. LOF is made from organic materials; the final result is a finished liquid. The use of LOF can be combined with zwavelzure ammonium (ZA) fertilizer. ZA contains sulfur (S), which can improve shallot bulbs' aroma, size, and taste. Sulfur can be obtained from artificial fertilizers such as kieserite with the main element Mg and an S content of 20.03% (Supriyono et al., 2023). Shallots, unlike other plants, require a lot of sulphate. Sulphate is essential for plant metabolism and is linked to several parameters that determine the nutritional quality of vegetable plants. The sulfur content in shallot bulbs has a large influence on its strong aroma (Elisabeth et al., 2022).

Based on the description above, it is necessary to carry out in-depth research regarding the effect of applying liquid organic fertilizer and ZA fertilizer on the growth and production of shallot plants so that the most optimal treatment combination can be obtained.

MATERIALS and METHODS

Study area and experimental design

This study was carried out under field conditions in the research fields of the Faculty of Agriculture, Hasanuddin University. This research starts from October to December 2022. This study was arranged in a split-plot design with three replications. The main plot is the concentration of LOF consisting of 0 mL/L, 10 mL/L, and 20 mL/L. The subplots, namely the ZA (21% N and 24% S) fertilizer, consist of 0 kg/ha, 50 kg/ha, 100 kg/ha, and 150 kg/ha. Soil characteristics on the research land are described in Table 1.

Table 1. Soil properties**Çizelge 1.** Toprak özellikleri

Soil Properties	
Texture	Clay loam
pH (H ₂ O) (1:10)	6.65
C (Walkey & Black)	5.05%
N (Kjeldahl)	0.41%
C/N	12
P ₂ O ₅ (Olsen)	12.06 ppm
K (NH ₄ -Acetat 1N. pH7)	0.24 cmol/kg
Ca (NH ₄ -Acetat 1N. pH7)	6.92 cmol/kg
Mg (NH ₄ -Acetat 1N. pH7)	1.68 cmol/kg
Na (NH ₄ -Acetat 1N. pH7)	0.46 cmol/kg
Cation Exchange Capacity (NH ₄ -Acetat 1N. pH7)	22.56 cmol/kg

Cultivation process

The cultivation process includes land preparation, seeding, transplanting, applying fertilizer, maintenance (watering, weeding, pest control), harvesting, and post-harvest. The experimental plot measures 150 cm × 150 cm, with a height of 30 cm and a distance between beds of 40 cm. After that, chicken manure was applied at a dose of 2 kg/plot, and carbofuran pesticide was applied at 5 g/plot. Apart from that, fertilization is carried out in NPK (16:16:16) at a dose of 100 kg/ha (22.5 g/plot). Then the application of zwavelzure ammonium fertilizer (21% N and 24% S) is also carried out before planting according to the determined dose, namely 0 kg/ha, 50 kg/ha (11.25 g/plot), 100 kg/ha (22.5 g/plot), and 150 kg/ha (33.75 g/plot).

The seeds used are from tubers of the Super Philips variety. The tuber seeds range from 3 to 5 g, are not damaged, and have been stored for three months. Before transplanting, cut the top 1/3 of the bulb to accelerate shoot growth. In each planting hole, one bulb is planted. During plant growth, liquid organic fertilizer is applied. The organic fertilizer containing N, P₂O₅, K₂O, C, Fe, Mn, Zn, Cr, Ni, and Mo, respectively, namely 0.77%, 0.25%, 1.85%, 17.22%, 230 ppm, 100 ppm, 18.06 ppm, 8.64 ppm, 11.79 ppm, and 5.85 ppm. The application of liquid organic fertilizer is carried out according to the predetermined treatment concentration, namely at the ages of 7, 14, and 21 DAP.

Weeding is done using a physical method, namely pulling directly by hand. Then, pest control is carried out by destroying it directly by hand. Harvesting is carried out after the harvest criteria are visible. Namely, the base of the leaves is thinning, the leaves appear yellow, and the leaves have fallen by around 80%. The bulbs are enlarged, and some have emerged from the soil's surface. The bulb segments appear dense, and the skin color is shiny. After harvesting, it is then dried for two weeks under direct sunlight.

Data collecting and analysis

Parameters observed included plant height (cm), number of leaves, number of bulbs, bulb diameter (cm), fresh weight of bulbs per clump (g), dry weight of bulbs per clump (g), production per hectare (t), and chlorophyll index (CCI). Plant height and number of leaves were observed at ages 14, 21, 28, 35, and 42 days after planting (DAP). Production components and the chlorophyll index at 45 DAP using CCM-200 were observed after harvest. The data that has been obtained is then analyzed for variance, and if there is a significant influence, an LSD test is carried out with $\alpha = 0.5$. If there is an interaction

between the two treatment factors, a two-way test is carried out, namely a main plot test on a different subplot and a subplot test on a different main plot. Data analysis uses R Studio software version 4.2.1.

RESULTS and DISCUSSION

Plant height (cm)

There is no interaction effect between LOF and ZA fertilizer on plant height. However, each treatment of liquid organic fertilizer and ZA fertilizer individually influenced plant height at several observation times. The application of liquid organic fertilizer at 21 DAP influenced plant height (Table 2). Application of LOF with a concentration of 20 mL/L recorded the highest average plant height (23.50 cm). Research conducted by Bahua & Gubali (2020) also found the same impact, namely that the application of liquid organic fertilizer was able to increase plant height, number of tillers, and rice production. In addition, Pangaribuan et al. (2019) show that applying organic fertilizer consistently increases sweet corn's growth, production, and quality.

The application of ZA fertilizer influenced almost the entire observation period, except for 35 DAP. Application of ZA fertilizer at a dose of 150 kg/ha recorded the highest average plant height at the age of 14 DAP (16.83 cm), 21 DAP (23.19 cm), 28 DAP (30.42 cm), and 42 DAP (44.03 cm). Supriyono et al. (2019) also found a similar thing in corn and cassava plants. The application of ZA fertilizer was able to increase the average plant height in both types of plants.

Table 2. Effect of liquid organic fertilizer (LOF) and ZA fertilizer on plant height (cm)

Çizelge 2. Sıvı organik gübre (LOF) ve amonyum süfat (ZA) gübresinin bitki boyu (cm) üzerine etkisi

Liquid Organic Fertilizer (mL/L)	Plant Height (cm)				
	14 DAP	21 DAP	28 DAP	35 DAP	42 DAP
0	15.84±0.41	20.75±0.48 ^q	27.50±0.87	20.23±0.53	40.04±1.15
10	15.69±0.36	22.00±0.49 ^{pq}	28.53±0.84	30.23±1.75	43.59±0.54
20	16.35±0.41	23.50±0.65 ^p	28.89±0.78	29.79±0.90	43.23±0.71
LSD 5%	Ns	2.04	Ns	Ns	Ns
ZA (kg/ha)					
0	14.99±0.11 ^c	20.71±0.63 ^c	26.53±0.30 ^b	27.37±0.58	40.57±1.32 ^c
50	15.80±0.28 ^{bc}	21.80±0.85 ^{bc}	27.67±0.70 ^{ab}	28.50±0.22	41.42±1.62 ^{bc}
100	16.22±0.31 ^{ab}	22.64±0.87 ^{ab}	28.60±0.35 ^a	29.56±0.80	41.12±0.84 ^{ab}
150	16.83±0.18 ^a	23.19±0.85 ^a	30.42±0.33 ^a	32.4±1.50	44.03±0.73 ^a
LSD 5%	0.81	1.13	0.81	ns	1.99

* Means next to the identical letter are not considerably distinct according to LSD Test.

Number of leaves

There is no interaction effect between liquid organic fertilizer and ZA fertilizer on the number of leaves. However, each treatment of LOF and ZA fertilizer individually influenced the number of leaves at several observation times. Application of LOF did not affect the number of leaves at 14, 21, and 42 DAP (Table 3). Application of LOF with a concentration of 20 mL/L recorded the highest average number of leaves at the age of 28 DAP (22.14) and 35 DAP (25.60). Research conducted by Martinez-Alcantara et al. (2016) also found that using liquid organic fertilizer increased plant growth, as indicated by significant leaf and root growth in citrus plants. Apart from that, applying LOF can increase the application of macro and micronutrients, directly influencing plants' carbohydrate content.

Table 3. Effect of liquid organic fertilizer (LOF) and ZA fertilizer on number of leaves**Çizelge 3.** Sıvı organik gübre (LOF) ve amonyum süfat (ZA) gübresinin yaprak sayısına üzerine etkisi

Liquid Organic Fertilizer (mL/L)	Number of Leaves				
	14 DAP	21 DAP	28 DAP	35 DAP	42 DAP
0	6.26±0.10	10.8±0.16	17.53±0.50 ^c	21.53±0.53 ^b	24.10±0.66
10	6.64±0.24	11.12±0.19	20.00±0.70 ^b	23.99±0.52 ^b	25.58±0.23
20	7.01±0.24	11.29±0.14	22.14±0.17 ^a	25.60±0.41 ^a	27.06±0.68
LSD 0.05	Ns	Ns	1.59	2.30	Ns
ZA (kg/ha)					
0	6.11±0.13	10.60±0.09	18.98±1.86 ^c	22.20±1.27 ^c	24.09±0.95 ^c
50	6.49±0.26	11.08±0.12	19.45±1.32 ^{bc}	23.68±1.16 ^{bc}	25.41±1.07 ^b
100	6.89±0.29	11.25±0.05	20.37±1.13 ^{ab}	24.05±1.14 ^{ab}	26.15±0.85 ^a
150	7.06±0.20	11.59±0.09	20.78±1.14 ^a	24.89±1.16 ^a	26.67±0.68 ^a
LSD 0.05	ns	ns	1.02	ns	0.73

* Means next to the identical letter are not considerably distinct according to LSD Test.

Application of ZA fertilizer had no effect over almost the entire observation period, except at the ages of 28 DAP and 42 DAP. Application of ZA fertilizer at a dose of 150 kg/ha recorded the highest average number of leaves at the age of 28 DAP (20.78) and 42 DAP (26.67). Research conducted by Supriyono et al. (2023) found that applying ZA and phosphate fertilizers increased the average number of leaves of ginger plants.

Number of bulbs and bulb diameter

There is no interaction effect between liquid organic fertilizer and ZA fertilizer on the number of bulbs and bulb diameter. However, liquid organic fertilizer treatment alone influenced the number of bulbs and bulb diameter, while the application of ZA fertilizer did not affect these two parameters. The application of LOF did not affect the number of leaves at 14, 21, and 42 DAP (Table 4). Application of LOF with a concentration of 20 mL/L recorded the highest average number of bulbs (10.93) and the widest bulb diameter (2.77 cm). Research conducted by Faried et al. (2021) using various types of biological liquid fertilizers positively impacted the growth of shallot bulbs. Then, Ji et al. (2017) found that the application of organic fertilizer not only increased canopy growth but also the root growth of chrysanthemum plants. Apart from that, applying LOF can also influence the microbial community in the soil.

Table 4. Effect of liquid organic fertilizer (LOF) and ZA fertilizer on number of bulbs and bulb diameter (cm)**Çizelge 4.** Sıvı organik gübre (LOF) ve amonyum süfat (ZA) gübresinin soğan sayısı ve soğan çapı (cm) üzerine etkisi

Liquid Organic Fertilizer (mL/L)	Number of Bulbs	Bulb Diameter (cm)
0	9.88±0.13 ^b	2.35±0.09 ^b
10	10.64±0.20 ^a	2.52±0.04 ^b
20	10.93±0.15 ^a	2.77±0.09 ^a
LSD 5%	1.08	0.25
ZA (kg/ha)		
0	10.09±0.29	2.41±0.10
50	10.68±0.41	2.53±0.20
100	10.45±0.20	2.51±0.08
150	10.71±0.35	2.73±0.12
LSD 5%	ns	ns

* Means next to the identical letter are not considerably distinct according to LSD Test.

Fresh bulb weight per clump (g)

It was found that LOF and ZA fertilizer applications had a significant effect on the fresh weight of bulbs per clump (Table 5). When the data in terms of shallot weight were evaluated, it was found that the highest mean value (145.60 g) was reached in the combined applications of 20 mL/L LOF and 150 kg/ha ZA doses. The combination of fertilizing through the soil with ZA and through the leaves with LOF can increase the growth of shallot bulbs. Meher et al. (2016) found a linear relationship between increasing doses of S fertilizer and increasing production components in onion plants. Moreover, liquid organic fertilizer can increase organic carbon, soil organic matter, exchangeable potassium, and sodium (Triharyanto et al., 2022).

Table 5. Effect of liquid organic fertilizer (LOF) and ZA fertilizer on fresh bulb weight per clump (g)

Çizelge 5. Sıvı organik gübre (LOF) ve amonyum süfat (ZA) gübresinin kümelenmiş taze soğan ağırlığına etkisi (g)

Liquid Organic Fertilizer (mL/L)	ZA (kg/ha)				LSD 0.05
	0	50	100	150	
0	46.80±3.68 ^b _q	53.43±1.49 ^b _r	58.83±8.90 ^b _r	76.73±6.76 ^a _r	12.19
10	54.47±5.79 ^d _q	71.70±6.02 ^c _q	84.97±0.37 ^b _q	108.87±6.25 ^a _q	
20	111.43±13.12 ^c _p	132.50±7.79 ^b _p	128.23±9.38 ^b _p	145.60±4.12 ^a _p	
LSD 5%	11.31				

* Means next to the identical letter in column (p, q, r) and in row (a, b, c) are not considerably distinct according to LSD Test.

Dry bulb weight (g), production per hectare (t) and chlorophyll index (CCI)

There is no interaction effect between LOF and ZA fertilizers on bulb dry weight, production per hectare, and chlorophyll index. However, LOF and ZA fertilizers individually influenced all of these parameters (Table 6). The application of LOF with a concentration of 20 mL/L recorded the heaviest dry bulb weight per clump (70.42 g) and the highest production per hectare (21.91 t). However, applying LOF at a concentration of 20 mL/L recorded the highest chlorophyll index value (20.48 CCI). In the ZA fertilizer treatment, it was noted that application at a dose of 150 kg/ha consistently recorded the best effect on the heaviest dry bulb weight per clump (67.36 g), the highest production per hectare (20.96 t), and the highest chlorophyll index (20.64 CCI).

Table 6. Effect of liquid organic fertilizer (LOF) and ZA fertilizer on dry bulb weight per clump (g), production per hectare (t), and chlorophyll index (CCI)

Çizelge 6. Sıvı organik gübre (LOF) ve amonyum süfat (ZA) gübresinin kümelenmiş kuru soğan ağırlığı (g), hektar başına üretim (t) ve klorofil indeksi (CCI) üzerindeki etkisi

Liquid Organic Fertilizer (mL/L)	Dry Bulb Weight per Clump (g)	Production per Hectare (t)	Chlorophyll Index (CCI)
0	34.83±3.60 ^c	10.83±1.12 ^c	19.85±0.22 ^b
10	51.07±7.27 ^b	15.89±2.26 ^b	20.39±0.30 ^a
20	70.42±4.99 ^a	21.91±1.55 ^a	20.48±0.09 ^a
LSD 0.05	5.54	1.72	0.49
ZA (kg/ha)	Dry Bulb Weight per Clump (g)	Production per Hectare (t)	Chlorophyll Index (CCI)
0	44.93±10.43 ^b	13.98±3.24 ^b	19.78±0.21 ^b
50	46.75±11.32 ^b	14.54±3.52 ^b	20.08±0.24 ^{ab}
100	49.39±8.06 ^b	15.36±2.50 ^b	20.46±0.35 ^a
150	67.36±11.95 ^a	20.96±3.71 ^a	20.64±0.10 ^a
LSD 0.05	4.91	1.53	0.57

* Means next to the identical letter are not considerably distinct according to LSD Test.

The increase in production components in dry bulb weight per clump, and production per hectare is directly influenced by applying LOF and ZA fertilizer. Linearly, it shows that increasing the dose of LOF and ZA fertilizer can increase the components of shallot production. Research conducted by Fatirahma & Kastono (2020) found a positive impact on the application of LOF on the production of shallot plants cultivated on sandy soil. This increase in production is, of course, related to the capacity to form and assimilate. These two treatment factors also influence the plant chlorophyll index. The nitrogen content in liquid organic fertilizer and ZA fertilizer directly helps in chlorophyll formation. Nitrogen is one of the main components in the structure of plant chlorophyll (Fathi, 2022).

Correlation among parameters

Parameters that have a positive correlation with the production per hectare, sorted from the smallest to the largest correlation value, are chlorophyll index (0.66), plant height (0.74), number of bulbs (0.82), number of leaves (0.84), bulb diameter (0.89), fresh bulb weight (0.96) and dry bulb weight (1.00). In this study, the relationship between the characteristics of shallot bulbs and production per hectare showed a close relationship. The correlation values between the number of bulbs, bulb diameter, and weight of fresh and dry bulbs per clump are 0.82, 0.89, 0.96, and 1.00, respectively. This indicates that the increase in bulbs' number, diameter, and weight is in line with the increase in bulb production per hectare. This was also found in a study by Elizani & Sulistyaningsih (2019), which described a positive correlation between bulb weight and shallot bulb productivity per hectare.

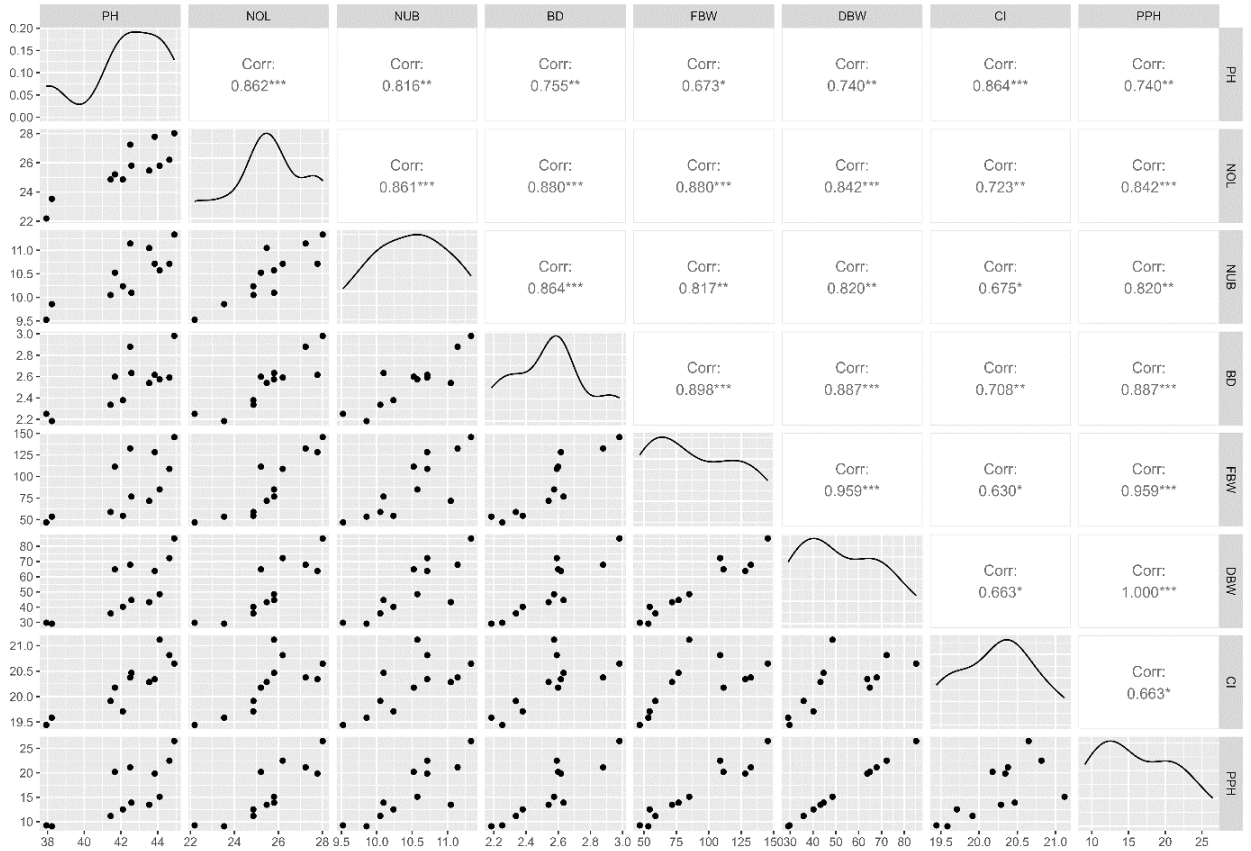


Figure 1. Correlation Maps Among Parameter. PH (plant height), NOL (number of leaves), NUB (number of bulbs), BD (bulb diameter), FBW (fresh bulb weight), DBW (dry bulb weight), CI (chlorophyll index), and PPH (production per hectare).

Şekil 1. Parametreler Arası Korelasyon. PH (bitki boyu), NOL (yaprak sayısı), NUB (soğan sayısı), BD (soğan çapı), FBW (taze soğan ağırlığı), DBW (kuru soğan ağırlığı), CI (klorofil indeksi) ve PPH (üretim hektar başına).

CONCLUSSIONS

Based on the research conducted, it can be concluded that the interaction between the application of liquid organic fertilizer (20 mL/L) and ZA fertilizer (150 kg/ha) recorded the highest average fresh bulb weight. Applying liquid organic fertilizer (20 mL/L) can increase the average plant height, number of leaves, number of bulbs, bulb diameter, dry bulb weight per clump, production per hectare, and chlorophyll index of shallot plants. On the other hand, zwavelzure ammonium fertilizer (150 kg/ha) influences plant height, number of leaves, dry bulb weight per clump, production per hectare, and chlorophyll index of shallot plants. Then, the correlation between various parameters were quite strong, with a correlation value range of 0.66 to 1.00. Parameters that have a positive correlation with the production per hectare, sorted from the smallest to the largest correlation value, are chlorophyll index (0.66), plant height (0.74), number of bulbs (0.82), number of leaves (0.84), bulb diameter (0.89), fresh bulb weight (0.96) and dry bulb weight (1.00).

Data Availability

Data will be made available upon reasonable request.

Author Contributions

Conception and design of the study: SHA; sample collection: SHA; analysis and interpretation of data: SHA; statistical analysis: MR, SHA; visualization: MR, FH; writing manuscript: SHA, MR, FH.

Conflict of Interest

There is no conflict of interest between the authors in this study.

Ethical Statement

We declare that there is no need for an ethics committee for this research.

Article Description

This article was edited by Section Editor Assoc. Prof. Dr.Ali Riza Ongun.

REFERENCES

- Bahua, M. I. & H. Gubali, 2020. Direct seed planting system and giving liquid organic fertilizer as a new method to increase rice yield and growth (*Oryza sativa* L.). *Agrivita Journal of Agriculture Science*, 42 (1): 68-77. DOI: <http://doi.org/10.17503/agrivita.v42i1.2324>
- Elisabeth, H., T. Permana & E. K. Prabawati, 2022. Product development of fried shallot from dairi potentiates as souvenir. *Advances in Biological Sciences Research*, 16: 348-356.
- Elizani, P. & E. Sulistyarningsih, 2019. The correlation and regression analysis of the growth and physiological parameter: how paclobutrazol increases bulb yield on three cultivars of true shallot seed. *Caraka Tani: Journal of Sustainable Agriculture*, 34 (2): 128-139.
- Faried, M., E. Syam'un & K. Mantja, 2021. Growth of botanical shallot seeds (true shallot seeds) applied with vermicompost and biological fertilizer. *Agrivigor*, 12 (2): 65-74.
- Fathi, A., 2022. Role of nitrogen (N) in plant growth, photosynthesis pigments, and N use efficiency: a review. *Agrisost*, 28: 1-8. DOI: 10.5281/zenodo.7143588
- Fatirahma, F. & D. Kastono, 2020. The effect of liquid organic fertilizer on yield of shallots (*Allium cepa* L. aggregatum group) on coastal sandy land. *Vegetalika*, 9 (1): 305-315. DOI: 10.22146/veg.47792
- Ji, R., G. Dong, W. Shi & J. Min, 2017. Effects of liquid organic fertilizers on plant growth and rhizosphere soil characteristics of chrysanthemum. *Sustainability*, 9 (5): 1-16. DOI: <https://doi.org/10.3390/su9050841>
- Martinez-Alcantara, B., M. R. Martinez-Cuenca, A. Bermejo, F. Legaz & A. Quinones, 2016. Liquid organic fertilizers for sustainable agriculture: nutrient uptake of organic versus mineral fertilizers in citrus trees. *PloS ONE*, 11 (10): 1-20. DOI: 10.1371/journal.pone.0161619

- Meher, R., J. Mandal, D. Saha & S. Mohanta, 2016. Effect of sulphur application in onion (*Allium cepa* L.). Journal of Crop and Weed, 12 (3): 86-90.
- Octaviani, M., H. Fadhli & E. Yuneistya, 2019. Test the antimicrobial activity of ethanol extract from shallot skin (*Allium cepa* L.) using the disc diffusion method. Pharmaceutical Sciences and Research (PSR), 6(1): 62-68.
- Pangaribuan, D. H., Sarno, K. Hendarto, Priyanto, A. K. Darma & T. Aprillia, 2019. Liquid organic fertilizer from plant extracts improves the growth, yield, and quality of sweet corn (*Zea mays* L. var. *saccharata*). Tropical Agricultural Science, 42 (3): 1157-1166.
- Rahayu, M. & R. U. Arini, 2018. Land suitability evaluation of shallot (*Allium ascalonicum* L.) at production centres in Losari district, Brebes. Journal Of Degraded and Mining Lands Management, (1): 1505-1511.
- Rahayu, T. D., M. Ardana & R. Rijai, 2017. Potential of shallot skin (*Allium cepa* L.) as an antioxidant and sunscreen. Proceeding of the 6th Mulawarman Pharmaceuticals Conferences Samarinda 6. DOI: <https://doi.org/10.25026/mpc.v6i1.263>
- Sari, A. N., 2016. Various spice plants as a source of natural antioxidants. Elkawnie, 2 (2): 203-212.
- Sharma, A. & R. Chetani, 2017. A review on the effect of organic and chemical fertilizers on plants. International Journal of Research in Applied Science & Engineering Technology, 5 (2): 677-680.
- Sihombing, P., 2018. Response of growth and production of shallots (*Allium ascalonicum* L.) to the application of chicken manure and NPK fertilizer. Jurnal Stindo Profesional, 4 (4): 198-213.
- Supriyono, J. R. Zakiyyah, T. D. Sulisty & B. Pujasmanto, 2019. The impact of ZA substitution with organic fertilizer through red ginger's growth and yield in mixed cropping with maize and cassava. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 905. DOI: 10.1088/1755-1315/905/1/012038
- Supriyono, K. S., P. Pertiwi, S. Sulandjari, D. Purnomo & B. Pujasmanto, 2023. The use of ZA and SP 36 fertilizer on growth and yield of red ginger (*Zingiber officinale* var. *Rubrum*). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1162. DOI: 10.1088/1755-1315/1162/1/012013
- Triharyanto, E., D. Setyaningrum & D. M. Muhammad, 2022. Potential of liquid organic fertilizer on flowering, yield of shallots (*Allium cepa* L. *Aggregatum*) and soil quality. Universal Journal of Agriculture Research, 10 (5): 526-533. DOI: 10.13189/ujar.2022.100507.



Research Article
(Araştırma Makalesi)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2024, 61 (3):307-319
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1437062>

Rahila ISLAMZADE ¹

Tariverdi ISLAMZADE ¹

Gatiba HASANOVA ²

Sultan HUSEYNOVA ¹

Tunzala BABAYEVA ¹

¹ Institute of Soil Science & Agrochemistry,
1073, Baku, Azerbaijan

² Research Institute Crop Husbandry, 1098,
Baku, Azerbaijan

* Corresponding author (Sorumlu yazar):

rehile.islamzade@gmail.com

Keywords: Barley, fertilization, N
dynamics, semi-arid climate, yield

Anahtar sözcükler: Arpa, gübreleme, N
dinamikleri, yarı-kurak iklim, verim

Effect of NPK fertilization and seed rate on barley (*Hordeum vulgare*) yield, yield component and nitrogen dynamics in semi-arid conditions

NPK gübreleme ve tohum oranının, yarı- kurak
koşullarda arpa (*Hoordeum vulgare*) verimi, verim
bileşenleri ve azot dinamikleri üzerindeki etkisi

Received (Alınış): 14.04.2024

Accepted (Kabul Tarihi):11.07.2024

ABSTRACT

Objective: This study aimed to investigate the impact of varying of NPK fertilization doses and seed rates on barley (*Hordeum vulgare*) yield, yield components, and inorganic nitrogen (NH₄-N and NO₃-N) dynamics in semi-arid conditions without artificial irrigation.

Material and Methods: The field experiment was conducted at the Gobustan Experimental Station from October 2018 to June 2019, utilizing the "Celilabad-19" barley variety. A randomized complete block design with four replications was employed, incorporating various seed rates and NPK fertilizer treatments. Plant and soil samples were collected at different phenological stages, and analyses included grain and straw yield, yield parameters, total N content of plant, and soil NH₄-N and NO₃-N levels.

Results and Discussion: The results the treatment with a seed rate of 140 kg/ha and N₆₀P₄₅K₄₅ fertilizer application consistently demonstrated the highest aboveground biomass, grain, and straw yields. This treatment exhibited optimal N content during the Full Maturity stage of plant.

Conclusion: In conclusion, this study has provided insights into optimizing barley cultivation practices in semi-arid climates, such as seed rate and NPK fertilizer dose. With a seed rate of 140 kg/ha and N₆₀P₄₅K₄₅ fertilizer application, the highest yield and performance indicators were achieved in the "Celilabad-19" barley variety.

ÖZ

Amaç: Bu çalışma, sulama yapılmayan yarı-kurak koşullarda değişen NPK gübreleme dozları ve tohum miktarlarının arpa (*Hordeum vulgare*) verimi, verim bileşenleri ve inorganik azot (NH₄-N ve NO₃-N) dinamikleri üzerindeki etkisini incelemeyi amaçlamaktadır.

Materyal ve Yöntem: Tarla denemesi, Ekim 2018-Haziran 2019 arasında Gobustan Deneme İstasyonu'nda "Celilabad-19" arpa çeşidi ile gerçekleştirilmiştir. Deneme farklı tohum miktarları ile NPK gübre uygulamalarını içermektedir. Bitkinin farklı fenolojik aşamalarda bitki ve toprak örnekleri alınmış ve bitkide tane ve sap verimi, verim parametreleri, bitkinin toplam N içeriği ile topraktaki NH₄-N ve NO₃-N seviyeleri belirlenmiştir.

Araştırma Bulguları: Sonuçlara göre, 140 kg/ha tohum miktarı ve N₆₀P₄₅K₄₅ gübre uygulamalarında, en yüksek toprak üstü bitki bioması, tane ve sap verimi elde edilmiş, bitkinin tam olgunluk aşamasında optimum N içeriğini sağlamıştır.

Sonuç : Bu çalışmada yarı-kurak iklimlerde tohum miktarı ve NPK gübre dozu gibi arpa yetiştirme uygulamalarını optimize etme konusunda bazı bilgiler elde edilmiştir. 140 kg/ha tohum miktarı ve N₆₀P₄₅K₄₅ gübre uygulamasıyla, Celilabad-19" arpa çeşidinde, en yüksek verim ve verim unsurları elde edilmiştir.

INTRODUCTION

Nitrogen (N) is a vital mineral nutrient essential for crop growth and yield, playing a pivotal role in plant productivity through its dynamic distribution and transformation within the soil (Stevenson 1982). The majority of total N, over 90%, exists in organic forms in the surface layer of most soils, with soil organic N significantly influencing plant nutrition by affecting microbial activity and nutrient availability (Bremner 1965). Inorganic N forms, like NH_4^+ -N and NO_3^- -N, availability, further affect plant and microbial utilization. In conventional agricultural fields, the primary entry of N into soils, apart from organic matter addition, predominantly occurs through chemical fertilizers. The potential movement of NO_3^- -N below the root zone underscores the importance of efficient fertilizer N utilization (González-Prieto et al., 1997). N management in agricultural systems involves intricate interactions with other nutrients, such as phosphorus (P) and potassium (K), and judicious fertilizer application is crucial for maintaining soil fertility and optimizing crop growth (Srivastava & Lal, 1998). In specific agroecosystems, like rice-wheat cropping sequences in Vertisols of Chattishgarh, understanding the long-term effects of nutrient management on various N fractions is essential for precise N management and sustainable agricultural practices (González-Prieto et al., 1997). As demonstrated in China, rice cultivation's pivotal role underscores the significance of proper nitrogen fertilization for yield and quality improvement (Wang et al., 2019; Dong et al., 2020). However, excessive chemical fertilizer usage raises concerns about nutrient loss and reduced efficiency, necessitating rational nitrogen fertilization to alleviate soil quality degradation, environmental pollution, and declining rice yield and quality (Zhang et al., 2009; Li et al., 2020).

Phosphorus (P) and Potassium (K) are other essential plant nutrients, influencing various physiological processes and stress tolerance, often comparable in importance to nitrogen (Amtmann et al., 2008; Römheld & Kirkby, 2010). Its deficiency can lead to reduced crop yield and quality, especially in the face of climate change-induced droughts and heat stresses (Pettigrew, 2008; Sardans & Peñuelas, 2015). The interactions between N, P, and K have significant implications for plant functions, nutrient dynamics, and fertilizer use efficiency. Considering the potential impact of nutrient management on soil and plant interactions, it becomes evident that N, P, and K are common limiting factors affecting plant primary productivity (Usherwood & Segars, 2001; Du et al., 2022). In soils, N undergoes rapid processes such as transformation, mineralization, and nitrification, resulting in high mobility in the soil. In contrast, P and K are tightly adsorbed by soil components such as clay and lime, exhibiting much slower mobility in the soil compared to nitrogen (Strawn et al., 2015; Singh et al., 2023). The intricate dynamics between nitrogen dynamics in soils and NPK fertilization necessitate a comprehensive understanding for effective fertilization strategies (Arbačauskas et al., 2023).

Plant density stands out as a pivotal agronomic factor that significantly impacts yield, influenced by various factors such as cultivars, climatic conditions, and the chosen production system (Zandi et al., 2011). The ideal density for crop plants varies depending on the specific conditions of the growing area and the fertility status of the soil. Proper plant spacing plays a critical role in enhancing overall production by ensuring that each plant has equal access to essential resources like water and nutrients. Numerous research studies have been undertaken to ascertain the optimal plant density or seeding rate, reflecting the importance of this aspect in agricultural practices (Cupina et al., 2010; Dahmardeh et al., 2010; Uzun et al., 2017). Therefore, changes in nutrient quantities in plants and the availability of nutrients in soils will undoubtedly occur depending on plant density or seeding rate.

Several environmental factors, with soil moisture content being one of the most critical, affect the effectiveness of added nutrients or fertilizers to soils. Soil moisture content is crucial for nitrogen's oxidation from NH_4 to NO_3 and significantly influences the mobility of NO_3 formed as the final product of nitrification (Trevors et al., 2007). This situation particularly results in plants in arid and semi-arid regions being unable to utilize nitrogen adequately from the soil. In arid and semi-arid regions like Azerbaijan, barley stands as a vital cereal crop, playing a pivotal role in food security. The unique interplay of factors,

including soil properties, climate change, and agricultural practices, significantly influences barley cultivation (Islamzade et al., 2023, 2024).

In this study, the impact of NPK fertilization applied to soils in different doses, along with varying seed quantities, on barley (*Hordeum vulgare*) yield, yield components, and changes in inorganic N forms in semi-arid climate conditions without any agricultural irrigation, was investigated through field experiment.

MATERIALS and METHODS

The field experiment was conducted at the Gobustan Experimental Station in the Merezze region, which is affiliated with the Azerbaijan Research Institute of Crop Husbandry (40°31'07.6372"N, 48°53'50.8362"E), spanning from October 2018 to June 2019. This experiment was carried out under rainfed conditions in Gobustan, Azerbaijan.

The Mountainous Shirvan region, where the Gobustan district is situated, manifests distinctive long-term climate patterns. The region experiences average annual temperatures ranging from 6 to 14°C, with the coldest months recording temperatures between 2 to 4°C, while the warmest period sees temperatures ranging from 15 to 25°C. Despite these fluctuations, the temperature generally maintains a stable pattern. Annual precipitation in the area varies from 360 mm to 543 mm (average, 412 mm). Remarkably, the distribution of rainfall during the crop vegetation period fluctuates annually, influencing agricultural practices and necessitating adaptive water management strategies. These climatic characteristics play a crucial role in influencing agricultural sustainability and the overall well-being of the local population. The climate (precipitation and temperature) data for the experimental area over the long years and throughout the trial period are presented in Figure 1.

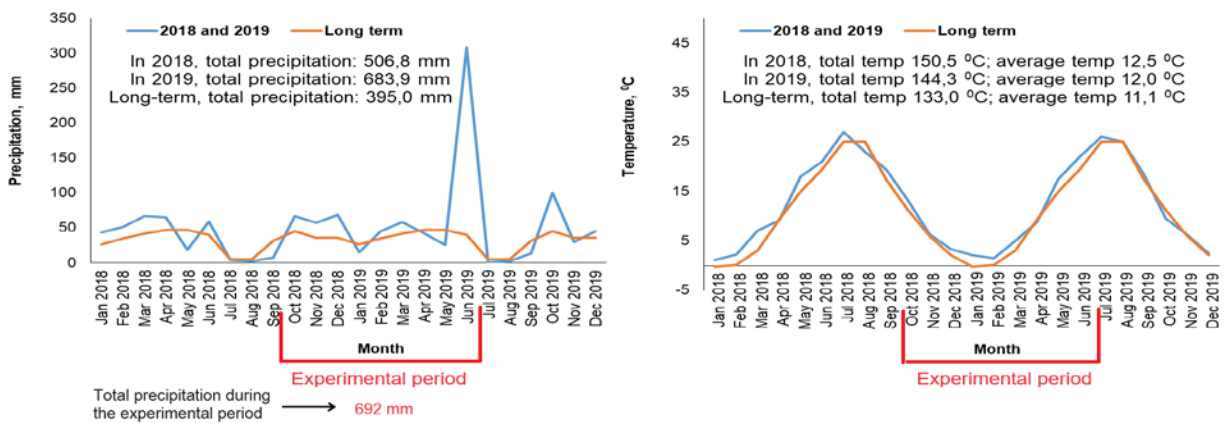


Figure 1. The climatic (precipitation and temperature) data of the experimental area.

Şekil 1. Deneme alanına ait iklim (yağış ve sıcaklık) verileri.

At the commencement of the experiment, a soil sample from the experimental field was gathered, specifically a chestnut soil type. Various chemical properties of the soil were analyzed using methodologies delineated in Rowell (1996) and Jones (2001).

Experimental Design

The experimental framework incorporated the "Celillabad-19" barley (*Hordeum vulgare*) variety, renowned for its resistance to drought and rust diseases, and widely cultivated in the area. Executed between October 2018 and June 2019, the field trial adopted a randomized complete block design with 4 replications, yielding a total of 48 plots. Each plot, spanning 50 m² (25 m × 2 m), featured a 0.30 m gap between adjacent plots. Agricultural mechanization tools were employed to sow barley seeds 5 cm below the soil surface during the second week of October, aligning with the climatic conditions in Gobustan, Azerbaijan. Harvesting took place in June.

The experimental factors included diverse seed rates and NPK fertilizer doses. Seed rates in the experiment comprised 120 kg/ha, 140 kg/ha, and 160 kg/ha. Table 1 outlines the distinct NPK fertilizer treatments, encompassing application doses of 30, 45, and 60 kg/ha. The N fertilizer employed was NH_4NO_3 (33% N), P fertilizer was single superphosphate ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 20.5% P_2O_5), and K fertilizer was Potassium sulphate (K_2SO_4 , 46% K_2O). At seeding, the entire dose of P and K fertilizers, along with 30% of the N fertilizer, was applied. Subsequently, during the tillering stage in March, the remaining 70% of the N fertilizer was administered to the barley.

Table 1. Experimental design

Çizelge 1. Deneme deseni

Treatments	Seed Rate (kg/ha)	Nitrogen fertilizer rate (kg/ha)	Phosphorus fertilizer rate (kg/ha)	Potassium fertilizer rate (kg/ha)
120-N ₀ P ₀ K ₀	120	0	0	0
120-N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	120	30	30	30
120-N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	120	45	45	45
120-N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	120	60	45	45
140-N ₀ P ₀ K ₀	140	0	0	0
140-N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	140	30	30	30
140-N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	140	45	45	45
140-N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	140	60	45	45
160-N ₀ P ₀ K ₀	160	0	0	0
160-N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	160	30	30	30
160-N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	160	45	45	45
160-N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	160	60	45	45

Throughout the experimental duration, no artificial irrigation was implemented, and the utilization of pesticides was omitted. The trial was meticulously structured to explore the impacts of varying rates of seed and doses of NPK fertilizer on the growth, development, and yield of the barley, considering the inherent soil and climatic conditions. By concentrating on these specific elements, the experiment aspires to furnish valuable insights into sustainable barley cultivation practices tailored to the distinctive environmental characteristics in Gobustan, Azerbaijan.

Plant and Soil Sampling and Analyses

Prior to harvest, the plant height and spike height of plants in all plots were determined, and subsequently, plants in all plots were harvested. Following harvest, grain and straw yields, as well as yield parameters (spike weight, number of grains per spike, weight of grain per spike, and 1000 kernel weight), were determined for all plots. After harvest, grain and straw samples were dried at 65°C until reaching constant weight, ground (<0.5mm), and analyzed by the Kjeldahl method as described by Jones (2001). Additionally, plant samples taken at different phenological stages of the barley plant (tillering, stem extension, heading, and full maturity) were analyzed for total biomass and total N content of the aboveground parts of the plants using the Kjeldahl method (Jones, 2001).

Furthermore, soil samples were gathered at a depth of 25 cm across various phenological stages (tillering, heading, and full maturity) of the barley plant. The $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ contents of these soil samples from all plots were determined by the Kjeldahl method in a 1 N KCl extraction. Available P_2O_5 was determined by spectrophotometry in a 0.5M NaHCO_3 extraction, and exchangeable K_2O was determined by flame photometry in a 1 N NH_4OAc extraction (Rowell, 1996).

Statistical Analysis

The data obtained from the research findings underwent statistical analysis through the utilization of the SPSS ver.26 software (Pallant, 2020).

RESULTS AND DISCUSSION

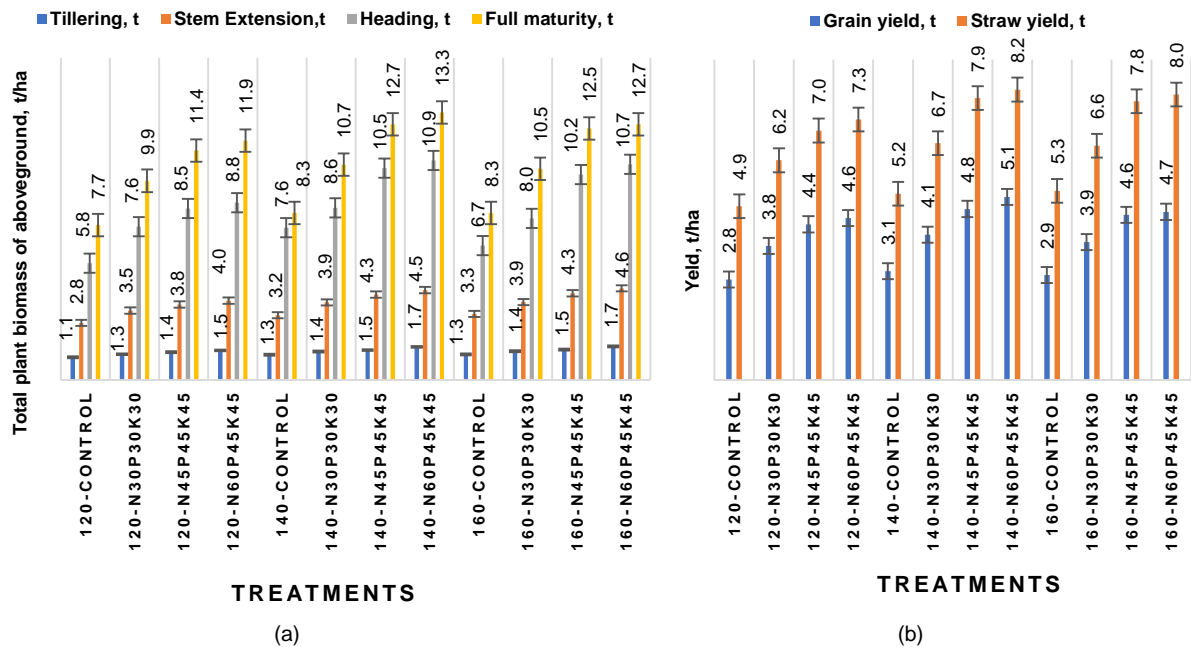
The outcomes derived from the analysis of soil samples gathered at depths of 0-25 cm, 25-50 cm, and 50-70 cm, aimed at investigating the soil properties of the experimental site characterized by Chestnut soil type, are outlined in Table 2. According to the findings, there is an evident increase in the content of calcium carbonate (CaCO₃) and a subsequent rise in soil pH as the subsoil depth increases. Conversely, in the uppermost 0-20 cm soil layer, higher concentrations of soil organic matter, total N, available N forms (NH₄ and NO₃), available P₂O₅, and exchangeable K₂O were observed. However, with increasing subsoil depth, a notable decrease in these nutrients was identified.

Table 2. Characteristics of Kastanozems soil type in the experimental area

Çizelge 2. Deneme alanındaki Kastanozem toprak tipinin özellikleri

Soil Dept (cm)	pH	CaCO ₃ (%)	Organic Matter (%)	Total N (%)	NH ₄ -N (mg/kg)	NO ₃ -N (mg/kg)	Available P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exchangeable K ₂ O (mg/kg)
0-25	8.25	4.34	2.23	0.165	18.2	14.0	30.45	292
25-50	8.45	5.90	1.37	0.099	12.8	8.5	12.60	167
50-70	8.60	7.70	0.73	0.056	8.2	5.2	5.75	112

Figure 2 illustrates the effects of various fertilizer doses and seed rates on the aboveground total plant biomass of barley and yield at different phenological stages, including tillering, stem extension, heading, and full maturity. The analysis reveals that the maximum aboveground plant biomass was consistently achieved during the full maturity phenological stage across all NPK fertilizer applications (Figure 2a).



	F value		F value	F value
Seed rate	1476754670.999***	Seed rate	21.500***	5.658***
Fertilizer dose	1966235571.665***	Fertilizer dose	141.044***	31.650***
Plant phenology	38970482942.307***			

Figure 2. Changes in total plant biomass of aboveground (a) and yield of grain and straw (b) across treatments.

Şekil 2. Deneme süresince toprak üstü toplam bitki biyokütlesi (a) ile tahıl ve saman veriminin (b) uygulamalara göre değişimi.

Additionally, a noteworthy trend indicates that as the nitrogen (N) application doses to the soil increased, there was a corresponding increase in aboveground plant biomass. The highest aboveground biomass was recorded with a seed application dose of 140 kg/ha and an $N_{60}P_{45}K_{45}$ fertilizer application dose. The analysis of grain yield and straw yield indicates notable trends (Figure 2b). The highest grain yield was consistently recorded in treatments with increased nitrogen (N) application doses and optimal seed rates. Similarly, the straw yield exhibited a positive correlation with the NPK fertilizer applications, with the maximum values observed in treatments involving higher nitrogen doses, specifically in the $140-N_{60}P_{45}K_{45}$ application. These findings underscore the significance of balanced fertilizer doses and seed rates in enhancing both grain and straw yields in the specific semi-arid conditions of the study area.

Similarly, prior studies have corroborated that augmenting fertilizer application doses contributes to the improvement of plant biomass and crop yields (Shah et al., 2009; Nogalska et al., 2011; Wilczewski et al., 2013; Agegnehu et al., 2016). Papastylianou (1995) conducted a study investigating the effects of varying seed rates (60-150 kg/ha) and nitrogen (N) fertilizer applications (0-150 kg N/ha) on the productivity and yield components of barley over six growing seasons (1987-93) under rainfed conditions in Cyprus. Across all years and nitrogen levels, the highest seed rate elevated barley grain yield by 6 percent, while nitrogen fertilizer application increased yield by up to 25 percent. Under these rainfed conditions, maximum grain yield could be achieved at a low seed rate with the addition of N fertilizer. At low N levels, an increase in the seed rate did not significantly improve grain yield. Elevated seed rates and N fertilization levels suppressed yield, primarily due to their negative impact on the number of seeds per spike and the weight of individual grains. In seasons with assured early rain establishment, a low seed rate (140 kernels/m²) is recommended, whereas in years with potential establishment challenges, an intermediate seed rate (240 kernels/m²) is advisable. These recommended seed rates should be coupled with the optimum N fertilization for the specific site.

The consistent trend of achieving the maximum aboveground total plant biomass during the full maturity stage is grounded in the natural growth cycle of barley. This stage marks the culmination of the plant's reproductive phase, where it allocates energy towards maximizing biomass. The positive correlation between nitrogen (N) application doses and biomass can be attributed to the critical role of nitrogen in chlorophyll synthesis, photosynthesis, and overall plant growth. As nitrogen availability increases, the plant's metabolic processes are enhanced, leading to greater biomass accumulation. The noteworthy peak in aboveground biomass observed with a seed application dose of 140 kg/ha and an $N_{60}P_{45}K_{45}$ fertilizer application dose suggests a synergistic effect between optimal seed rates and a well-balanced NPK fertilizer composition, amplifying the growth-promoting impact of nitrogen.

The observed trends in grain and straw yields are intricately linked to the dynamics of nitrogen availability and its influence on barley's reproductive and vegetative phases. The positive correlation between N application doses and yield of grain underscores the pivotal role of nitrogen in supporting the development of grains. Nitrogen is a key component of proteins, enzymes, and chlorophyll, essential for photosynthesis, grain filling, and overall yield. Optimal seed rates complement nitrogen's effects by ensuring an adequate number of plants per unit area, maximizing the utilization of available nutrients. The peak in grain yield, consistently found in treatments with increased nitrogen doses and optimal seed rates, reflects the synergistic impact of these factors on barley productivity. Similarly, the positive relationship between straw yield and nitrogen doses, specifically in the $140-N_{60}P_{45}K_{45}$ treatment, suggests that higher nitrogen availability contributes not only to grain development but also to increased vegetative biomass.

In essence, the observed patterns underscore the nuanced interplay between nitrogen availability, seed rates, and the distinct phenological stages in determining barley growth and yield. The treatment yielding the highest values in both biomass and yield metrics ($140-N_{60}P_{45}K_{45}$) showcases the intricate balance required for optimal results. This balanced approach ensures that the crop receives sufficient

nitrogen for growth, complemented by an appropriate seed rate to maximize the utilization of available resources. The findings provide practical insights for optimizing agricultural practices in semi-arid climates, aligning with the principles of precision agriculture and sustainable crop management.

Table 3 encapsulates the variations in plant height, spike length, spike weight, number of grains per spike, weight of grain per spike, and 1000-kernel weight in response to different fertilizer doses and seed rates, providing insights into diverse yield parameters. The analysis of plant height reveals distinctive patterns influenced by varying fertilizer doses and seed rates. The treatment with the most substantial impact on plant height is observed in the 120-N₆₀P₄₅K₄₅ application, recording a notable increase. This suggests that the synergistic effect of well-balanced NPK fertilizer doses and seed rates, especially in the 120-N₆₀P₄₅K₄₅ treatment, contributes to enhanced plant height. Spike length exhibits variations across treatments, with the 120-N₆₀P₄₅K₄₅ treatment again standing out with an increased spike length. The positive correlation between nitrogen application doses and spike length aligns with the understanding that nitrogen is a key driver of plant growth and development. Spike weight demonstrates variations influenced by different fertilizer doses and seed rates.

Table 3. The effect of seed rates and NPK fertilizer treatments on barley crop yield components

Çizelge 3. Tohum miktarı ve NPK gübre uygulamalarının arpa verimi ve verim bileşenleri üzerine etkisi

Treatments	Plant height (cm)	Spike length (cm)	Spike weight (g)	Number of grains per spike	Weight of grain per spike (g)	1000 kernel weight (g)
120-N ₀ P ₀ K ₀	112.80 ± 1.55	13.20 ± 0.18	1.80 ± 0.04	27.70 ± 0.38	1.20 ± 0.02	45.60 ± 0.63
120-N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	110.70 ± 1.51	15.40 ± 0.22	2.07 ± 0.09	28.25 ± 0.39	1.23 ± 0.02	46.00 ± 0.63
120-N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	111.50 ± 1.53	15.00 ± 0.20	1.94 ± 0.03	29.70 ± 0.40	1.32 ± 0.031	46.20 ± 0.63
120-N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	130.20 ± 2.35	15.70 ± 0.24	1.86 ± 0.04	28.60 ± 0.39	1.47 ± 0.03	47.60 ± 0.66
140-N ₀ P ₀ K ₀	100.00 ± 1.37	16.80 ± 0.35	1.80 ± 0.04	27.50 ± 0.38	1.44 ± 0.03	46.90 ± 0.65
140-N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	107.50 ± 1.46	17.60 ± 0.43	1.56 ± 0.02	23.70 ± 0.31	1.48 ± 0.031	49.20 ± 0.68
140-N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	107.60 ± 1.46	17.70 ± 0.44	1.83 ± 0.04	28.90 ± 0.39	1.57 ± 0.045	49.70 ± 0.68
140-N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	100.50 ± 1.37	17.20 ± 0.41	1.90 ± 0.03	26.00 ± 0.37	1.69 ± 0.47	51.00 ± 0.70
160-N ₀ P ₀ K ₀	112.00 ± 1.54	17.30 ± 0.41	1.73 ± 0.09	26.60 ± 0.37	1.38 ± 0.03	46.00 ± 0.62
160-N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	100.90 ± 1.40	17.00 ± 0.40	1.54 ± 0.02	24.12 ± 0.32	1.45 ± 0.032	48.20 ± 0.66
160-N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	105.60 ± 1.42	17.80 ± 0.45	1.85 ± 0.04	26.11 ± 0.37	1.54 ± 0.042	48.60 ± 0.67
160-N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	111.20 ± 1.52	17.80 ± 0.45	1.65 ± 0.02	26.60 ± 0.37	1.62 ± 0.05	48.20 ± 0.66
	<u>F value</u>	<u>F value</u>	<u>F value</u>	<u>F value</u>	<u>F value</u>	<u>F value</u>
Seed rate	9.091***	25.467***	203.394***	126.292***	194.181***	6.703***
Fertilizer norm	4.012***	1.210***	9.952***	19.945***	214.206***	3.771***

The treatment with the most substantial impact on spike weight is observed in the 140-N₆₀P₄₅K₄₅ application. This emphasizes the importance of balanced nutrient availability, particularly nitrogen, in supporting the development of spikes. The number of grains per spike reveals an interesting trend, with the 120-N₄₅P₄₅K₄₅ treatment exhibiting the highest count. This suggests that the specific combination of seed rates and NPK fertilizer doses in this treatment optimally supports grain formation within the spikes. The weight of grain per spike exhibits variations, with the 140-N₆₀P₄₅K₄₅ treatment showing the highest value. This underscores the significance of nitrogen supplementation, particularly in treatments with well-balanced NPK fertilizer doses and seed rates, in promoting grain development within individual spikes. The analysis of 1000-kernel weight showcases variations influenced by different fertilizer doses and seed rates. The treatment with the most substantial impact is observed in the 140-N₆₀P₄₅K₄₅ application, emphasizing the role of balanced nutrient availability in supporting kernel development.

The results from Table 3 highlight the multifaceted impact of varying fertilizer doses and seed rates on diverse barley yield parameters. The treatments exhibiting the most substantial impacts underscore

the importance of a well-balanced approach to nutrient management for optimizing plant growth, spike development, and grain yield. These insights provide practical implications for tailored fertilizer management strategies, contributing to enhanced barley yield and overall crop performance in semi-arid climates.

Figure 3 illustrates the variations in the total nitrogen (N) content of barley aboveground parts (tillering, stem extension, heading, and full maturity) in response to different fertilizer doses and seed rates. The examination of total nitrogen content in barley aboveground parts reveals notable dynamics across different phenological stages. The highest total nitrogen content consistently occurred during the Full Maturity stage for all treatments. Additionally, an upward trend in total nitrogen content was observed with increasing N application doses, suggesting a positive correlation between nitrogen supplementation and the nitrogen content in the aboveground parts of barley. The treatment with the most substantial impact was recorded in the 120-N₆₀P₄₅K₄₅ application during the Full Maturity stage (Figure 3a). These findings highlight the influence of varying rates of seed and NPK fertilizer doses on the N dynamics in barley, emphasizing their importance in optimizing nitrogen content at different growth stages. Observing the total nitrogen content in barley grain and straw, it is evident that the highest values are consistently achieved with the 120-N₆₀P₄₅K₄₅ treatment. Notably, there is a general trend of increased N content in both grain and straw with higher N application doses (Figure 3b). These findings emphasize the effect of NPK fertilizer doses and rates of seed on the nitrogen dynamics within barley components, shedding light on the potential for optimizing nitrogen content in both grain and straw through strategic fertilizer management.

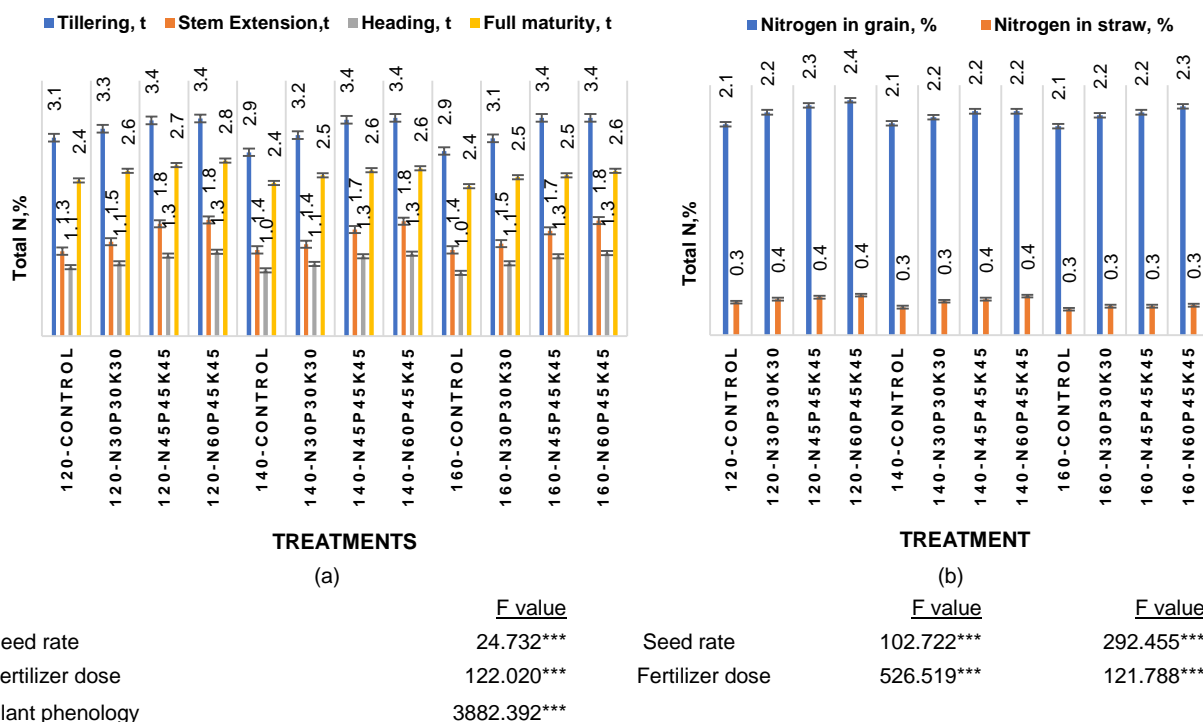


Figure 3. Changes in total N contents in total plant biomass of aboveground (a) and, grain and straw (b) across treatments.

Şekil 3. Deneme süresince toprak üstü toplam bitki biyokütlesi (a) ile tane ve samanın (b) toplam N içeriğinin uygulamalara göre değişimi.

The depiction of total nitrogen content in barley aboveground parts (tillering, stem extension, heading, and full maturity) reveals intriguing patterns throughout the growth cycle. The consistently higher total nitrogen content during the Full Maturity stage aligns with the plant's increased demand for nitrogen during the reproductive phase. This stage represents a critical period for grain filling, where a substantial allocation of nitrogen is directed towards protein synthesis in grains. The positive correlation between N treatment doses and total N content underscores the significance of nitrogen availability in supporting the plant's nitrogen

requirements. The treatment with the most substantial impact, particularly evident in the 120-N₆₀P₄₅K₄₅ application during the Full Maturity stage, emphasizes the synergistic effect of well-balanced NPK fertilizer doses and seed rates in optimizing nitrogen content during the crucial reproductive phase. Similarly, studies conducted by Gülser et al. (2019), Alimkhanov et al. (2021), and Kızılkaya et al. (2022) have determined that fertilizer applications to plants not only increase the yield components and yield of the plant but also significantly enhance nutrient content in the plant. The assessment of total nitrogen content in barley grain and straw (Figure 3b) elucidates the impact of NPK fertilizer doses and rates of seed on nitrogen dynamics within these components. The consistent observation of the highest nitrogen content in both grain and straw with the 120-N₆₀P₄₅K₄₅ treatment aligns with the trends observed in aboveground biomass and yield components. This further underscores the interconnected influence of nitrogen, seed rates, and biomass accumulation. The general trend of increased nitrogen content in both grain and straw with higher N application doses highlights the pivotal role of nitrogen fertilization in enhancing nitrogen accumulation in barley components. The results emphasize the potential for strategic fertilizer management to optimize nitrogen content in both grain and straw, contributing to improved barley quality and overall crop performance.

The findings from Figure 3 underscore the intricate dynamics of nitrogen content in barley aboveground parts, grain, and straw. The results affirm the importance of a balanced approach to NPK fertilizer applications and seed rates in maximizing nitrogen content, particularly during critical growth stages. These insights provide valuable guidance for precision nitrogen management strategies, enhancing the sustainability and productivity of barley cultivation in semi-arid climates.

Figure 4 presents the variations in NH₄-N and NO₃-N contents in the soil at various phenological stages, influenced by different fertilizer doses and seed rates. The NH₄-N content in the soil exhibits variations across different growth stages, influenced by diverse fertilizer doses and seed rates. Generally, an increasing trend in NH₄-N content is observed with higher N application doses, emphasizing the impact of nitrogen fertilization on soil ammonium levels.

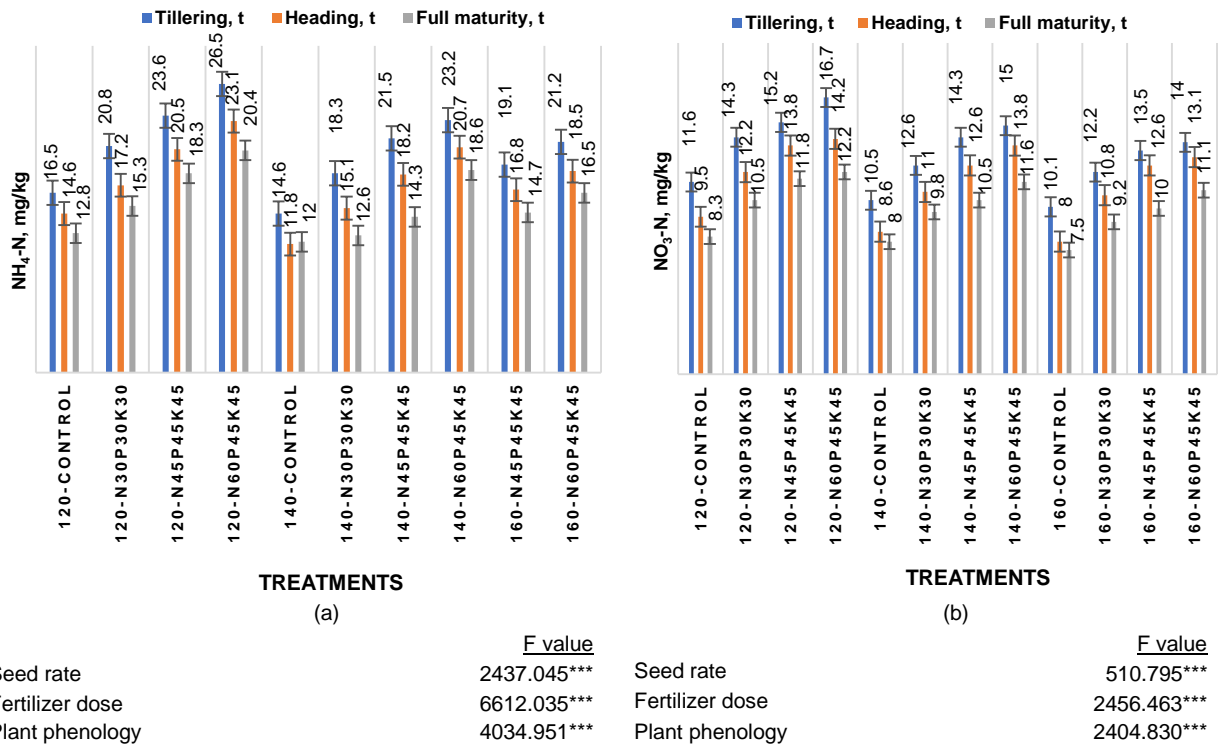


Figure 4. Changes in soil NH₄-N (a) and soil NO₃-N (b) contents across phenological stages of barley plant and treatments.

Şekil 4. Arpa bitkisinin fenolojik aşamaları ve uygulamalara göre toprak NH₄-N (a) ve NO₃-N (b) içeriklerindeki değişiklikler.

The highest $\text{NH}_4\text{-N}$ content is consistently recorded in treatments with elevated nitrogen doses, particularly in the $120\text{-N}_{60}\text{P}_{45}\text{K}_{45}$ treatment at Full Maturity (Figure 4a). Likewise, Rutkowski & Łysiak (2023) observed that incremental doses of N fertilizer application (0, 60, and 120 kg N/ha) in soils dedicated to cherry cultivation led to a rise in the ammonium content within the soil. The $\text{NO}_3\text{-N}$ content in the soil displays variations across different growth stages, responding to diverse fertilizer doses and seed rates. Generally, an increasing trend in $\text{NO}_3\text{-N}$ content is observed with higher nitrogen (N) application doses, highlighting the influence of nitrogen fertilization on soil nitrate levels. The highest $\text{NO}_3\text{-N}$ content is consistently recorded in treatments with elevated nitrogen doses, particularly in the $120\text{-N}_{60}\text{P}_{45}\text{K}_{45}$ treatment at Full Maturity (Figure 4b). These findings emphasize the significance of nitrogen management in influencing $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ contents in the soil, providing valuable insights for optimizing soil nitrogen levels at different phenological stages.

Treatment impacts on soil NO_3^- levels varied significantly. As the barley plant progressed from tillering to full maturity, a clear pattern in soil NO_3^- content emerged (Alimkhanov et al., 2021). The decrease in soil nitrate content observed during the plant's growth stages is attributed to the active uptake of $\text{NO}_3\text{-N}$ by the plant from the soil. This is in accordance with the notion that the growth of barley plants is contingent upon $\text{NO}_3\text{-N}$ as a crucial nutrient for their development and overall growth (Tischner, 2000; Nacry et al., 2013).

The variations in $\text{NH}_4\text{-N}$ content across different phenological stages illustrate the intricate relationship between nitrogen application doses and soil ammonium levels. The consistent upward trend in $\text{NH}_4\text{-N}$ content with higher nitrogen doses reaffirms the direct influence of nitrogen fertilization on soil ammonium levels. This observation aligns with the fundamental role of ammonium in nitrogen cycling within the soil. The treatment with the most substantial impact, particularly evident in the $120\text{-N}_{60}\text{P}_{45}\text{K}_{45}$ treatment at Full Maturity, highlights the importance of strategic nitrogen management. The higher $\text{NH}_4\text{-N}$ content in this treatment underscores the synergistic effect of well-balanced NPK fertilizer doses and seed rates in optimizing ammonium availability in the soil during crucial growth stages. Similarly, the variations in $\text{NO}_3\text{-N}$ content across phenological stages reveal the intricate dynamics influenced by nitrogen application doses and seed rates. The observed increasing trend in $\text{NO}_3\text{-N}$ content with higher nitrogen application doses emphasizes the role of nitrogen fertilization in shaping soil nitrate levels. The highest $\text{NO}_3\text{-N}$ content consistently recorded in treatments with elevated nitrogen doses, especially in the $120\text{-N}_{60}\text{P}_{45}\text{K}_{45}$ treatment at Full Maturity, underscores the significance of nitrogen management in influencing soil nitrate dynamics. This finding aligns with the understanding that nitrate is a crucial form of nitrogen readily available to plants. The treatment exhibiting the highest $\text{NO}_3\text{-N}$ content highlights the cooperative effect of well-balanced NPK fertilizer doses and seed rates in optimizing nitrate availability in the soil during critical growth stages. These observations contribute practical insights for tailored nitrogen management strategies, aiming to optimize soil nitrate levels and support the nutritional needs of the growing crops. In summary, the results from Figure 4 emphasize the nuanced influence of nitrogen application doses and seed rates on soil ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$) and nitrate ($\text{NO}_3\text{-N}$) dynamics. These insights contribute valuable information for optimizing soil nitrogen levels at different phenological stages, aligning with sustainable soil management practices in semi-arid climates.

CONCLUSION

The findings revealed significant trends in barley growth, yield components, and soil nutrient dynamics in response to different fertilizer applications and rates of seed. Notably, the synergistic effects of well-balanced NPK fertilizer doses and optimal seed rates, as observed in the $140\text{-N}_{60}\text{P}_{45}\text{K}_{45}$ treatment, resulted in the highest aboveground biomass, grain yield, and straw yield during the Full Maturity stage. This underscores the importance of precision nutrient management in maximizing barley productivity under semi-arid conditions. The comprehensive analysis of plant parameters, including plant height, spike

length, spike weight, number of grains per spike, weight of grain per spike, and 1000-kernel weight, highlighted the nuanced impact of fertilizer doses and seed rates on diverse yield parameters. The treatment-specific trends observed in these parameters underscore the need for tailored nutrient management strategies to optimize plant growth and yield components in semi-arid climates.

Furthermore, the investigation into the nitrogen content in barley aboveground parts, grain, and straw demonstrated consistent trends across different phenological stages. The positive correlation between N application doses and total N content, particularly during the full maturity stage, emphasizes the critical role of nitrogen in supporting barley's reproductive phase. The highest nitrogen content in both grain and straw in the 120-N₆₀P₄₅K₄₅ treatment underscores the potential for strategic fertilizer management to enhance nitrogen accumulation, contributing to improved barley quality and overall crop performance. Moreover, the study explored the variations in soil NH₄-N and NO₃-N contents at different phenological stages, shedding light on the influence of nitrogen fertilization on soil ammonium and nitrate dynamics. The observed trends provide practical insights for optimizing soil nitrogen levels, especially during critical growth stages, contributing to sustainable soil management practices in semi-arid climates.

Data Availability

Data will be made available upon reasonable request.

Author Contributions

Conception and design of the study: RI; sample collection: GH; analysis and interpretation of data: TI; statistical analysis: RI; visualization: SH; writing manuscript: TB.

Conflict of Interest

There is no conflict of interest between the authors in this study.

Ethical Statement

We declare that there is no need for an ethics committee for this research.

Financial Support

This study did not receive any financial support.

Article Description

This article was edited by Section Editor Assoc. Prof. Dr. Ali Rıza ONGUN.

REFERENCES

- Agegnehu, G., P.N. Nelson & M.I. Bird, 2016. Crop yield, plant nutrient uptake and soil physicochemical properties under organic soil amendments and nitrogen fertilization on Nitisols. *Soil & Tillage Research*, 160 (6): 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.02.003>
- Alimkhanov, Y., R. Yeleshev, B. Yertayeva & A. Aitbayeva, 2021. Responses of potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties to NPK fertilization on tuber yield in the Southeast of Kazakhstan. *Eurasian Journal of Soil Science*, 10 (4): 285-289. DOI : <https://doi.org/10.18393/ejss.954899>
- Amtmann, A., S.Troufflard & P. Armengaund, 2008. The effect of potassium nutrition on pests and disease resistance in plants. *Physiologia Plantarum*, 133: 682-691. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2008.01075.x>
- Arbačasuskas, J., Z.J. Vaišvila, G. Staugaitis, L. Žičkienė, A. Masevičienė & D.Šumskis, 2023. The influence of mineral NPK fertilizer rates on potassium dynamics in soil: Data from a long-term agricultural plant fertilisation experiment. *Plants*, 12: 3700. <https://doi.org/10.3390/plants12213700>
- Bremner, J.M., 1965. "Total Nitrogen, 1149-1176". In: *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and microbiological Properties* (Eds. C.A. Black, D.D. Evans, J.L. White, L.E. Ensminger & F.E. Clark), Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA. 1055 pp.

- Carillo, P. & Y. Roupshael, 2022. Nitrate uptake and use efficiency: Pros and cons of chloride interference in the vegetable crops. *Frontiers in Plant Science*, 13: 899522. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.899522>
- Cupina, B., D. Krstic, A. Mikic, P. Eric, S. Vuckovic & B. Pejic, 2010. The effect of field pea (*Pisum sativum L.*) companion crop management on red clover (*Trifolium pratense L.*) establishment and productivity. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 34: 275-283. DOI: <https://doi.org/10.3906/tar-0904-23>
- Dahmardeh, M., M. Ramroodi & J. Valizadeh, 2010. Effect of plant density and cultivars on growth, yield and yield components of faba bean (*Vicia faba L.*) *African Journal of Biotechnology*, 9 (50): 8643-8647
- Dong, Y., J. Yuan, G. Zhang, J. Ma, P. Hilario, X. Liu & S. Lu, 2020. Optimization of nitrogen fertilizer rate under integrated rice management in a hilly area of Southwest China. *Pedosphere*, 30: 759-768. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(20\)60036-4](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(20)60036-4)
- Du, M., W. Zhang, J. Gao, M. Liu, Y. Zhou, D. He, Y. Zhao & S. Liu, 2022. Improvement of root characteristics due to nitrogen, phosphorus, and potassium interactions, increases Rice (*Oryza sativa L.*) yield and nitrogen use efficiency. *Agronomy*, 12 (1): 23. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12010023>
- González-Prieto, S.J., L. Jocteur-Monrozier, J.M. Hétier & T. Carballas, 1997. Changes in the soil organic N fractions of tropical Alfisol fertilized with ¹⁵N-urea and cropped to maize or pasture. *Plant and Soil*, 195: 151-160. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1004248803297>
- Gülser, C., Z. Zharlygasov, R. Kızılkaya, N. Kalimov, I. Akça & Z. Zharlygasov, 2019. The effect of NPK foliar fertilization on yield and macronutrient content of grain in wheat under Kostanai-Kazakhstan conditions. *Eurasian Journal of Soil Science*, 8 (3): 275-281. DOI : <https://doi.org/10.18393/ejss.575026>
- İslamzade, R., G. Hasanova & S. Asadova, 2023. Impact of varied NPK fertilizer application rates and seed quantities on barley yield and soil nutrient availability in Kastanozems soil of Azerbaijan. *Eurasian Journal of Soil Science* 12 (4): 371-381. DOI : <https://doi.org/10.18393/ejss.1356604>
- İslamzade, T., D. Baxisov, A. Guliyev, R. Kızılkaya, R. İslamzade, A. Ay, S. Huseynova & M. Mammadova, 2024. Soil fertility status, productivity challenges, and solutions in rice farming landscapes of Azerbaijan. *Eurasian Journal of Soil Science*, 13 (1): 70-78. DOI: <http://ejss.fess.org/10.18393/ejss.1399553>
- Jones, J.B., 2001. *Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analyses*. CRC Press, New York, USA. 363 pp.
- Kızılkaya, R., G. Dumbadze, C. Gülser & L. Jgenti, 2022. Impact of NPK fertilization on hazelnut yield and soil chemical-microbiological properties of Hazelnut Orchards in Western Georgia. *Eurasian Journal of Soil Science*, 11 (3): 206-215. DOI : <https://doi.org/10.18393/ejss.1060314>
- Li, X., B. Li, C. Wang, Y. Chen & P. Ma, 2020. Effects of long-term fertilization on different nitrogen forms in paddy along soil depth gradient. *American Journal of Plant Sciences*, 11: 2031-2042. DOI: <https://doi.org/10.4236/ajps.2020.1112143>
- Nacry, P., E. Bouguyon & A. Gojon, 2013. Nitrogen acquisition by roots: physiological and developmental mechanisms ensuring plant adaptation to a fluctuating resource. *Plant and Soil*, 370: 1-29. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1645-9>
- Nogalska, A., J. Czaplą & M. Skwierawska, 2011. The effect of multi-component fertilizers on spring barley yield, the content and uptake of macronutrients. *Polish Journal of Natural Science*, 4 (4): 174-183. DOI: <https://doi.org/10.5601/jelem.2012.17.1.09>
- Pallant, J., 2020. *SPSS Survival Manual: A Step by Step Guide to Data Analysis Using IBM SPSS*. Routledge.
- Papastylianou, I., 1995. The effects of seed rate and nitrogen fertilization on yield and yield components of two-row barley, *European Journal of Agronomy*, 4 (2): 237-243. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(14\)80050-6](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(14)80050-6)
- Pettigrew, T.W., 2008. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. *Physiologia Plantarum*, 133: 670-681. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2008.01073.x>
- Römheld, V. & E. Kirkby, 2010. Research of potassium in agriculture: Needs and prospects. *Plant and Soil*, 335: 155-180. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0520-1>
- Rowell, D.L., 1996. *Soil Science: Methods and Applications*. Longman, UK. 350 pp.
- Rutkowski, K. & G.P. Łysiak, 2023. Effect of nitrogen fertilization on tree growth and nutrient content in soil and cherry leaves (*Prunus cerasus L.*). *Agriculture*, 13 (3): 578. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13030578>
- Sardans, J. & J. Peñuelas, 2015. Potassium: A neglected nutrient in global change. *Global Ecology and Biogeography*, 24: 261-275. DOI: <https://doi.org/10.1111/geb.12259>

- Shah, S. A., S. M. Shah, W. Mohammad, M. Shafi & H. Nawaz, 2009. N uptake and yield of wheat as influenced by integrated use of organic and mineral nitrogen. *International Journal of Plant Production* 3 (3): 45-56. DOI: <https://doi.org/10.22069/ijpp.2012.651>
- Singh, R., S.K. Sawatzky, M. Thomas, S. Akin, H. Zhang, W. Raun & D.B. Arnall, 2023. Nitrogen, phosphorus, and potassium uptake in rain-fed corn as affected by NPK fertilization. *Agronomy*, 13: 1913. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13071913>
- Srivastava, S.C. & J. P. Lal, 1998. Nitrogen mineralization in variously treated dry land tropical arable soil. *Journal of the Indian Society of Soil Science* 46 (1), 9-14.
- Stevenson, F.J., 1982. Origin and distribution of nitrogen in soil. In: *Nitrogen in Agricultural Soils*, Stevenson, F.J. (Ed.). *Agronomy* 22, 1-39.
- Strawn, D.G., H.L. Bohn & G.A. O'Connor, 2015. *Soil Chemistry*. Wiley Blackwell, 392 pp.
- Tischner, R., 2000. Nitrate uptake and reduction in higher and lower plants. *Plant, Cell and Environment*, 23: 1005-1024. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2000.00595.x>
- Trevors, J.T., J.D. Elsas & J.K. Jansson, 2007. *Modern Soil Microbiology*. Second Edition. CRC Press. 646 pp.
- Usherwood, N.R. & W.I. Segars, 2001. Nitrogen interactions with phosphorus and potassium for optimum crop yield, nitrogen use effectiveness, and environmental stewardship. *The Scientific World Journal Article*, ID 573031. DOI: <https://doi.org/10.1100/tsw.2001.97>
- Uzun, A., B.B. Asik & E. Acikgöz, 2017. Effects of different seeding rates on forage yield and quality components in pea. *Turkish Journal of Field Crops*, 22 (1): 126-133. DOI: <https://doi.org/10.17557/tjfc.312335>
- Wang, D., C. Ye, C. Xu, Z. Wang, S. Chen, G. Chu & X. Zhang, 2019. Soil nitrogen distribution and plant nitrogen utilization in direct-seeded rice in response to deep placement of basal fertilizer-nitrogen. *Rice Science*, 26: 404-415. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2018.12.008>
- Wilczewski, E., M. Szczepanek, A. Piotrowska-Dlugosz & A. Wenda-Piesik, 2013. Effect of nitrogen rate and stubble catch crops on concentration of macroelements in spring wheat grain. *Journal of Elementology*, 18 (3): 481-494. DOI: <https://doi.org/10.5601/jelem.2013.18.3.12>
- Zandi, P., A.H. Shirani-Rad & L. Bazrkar-Khatibani, 2011. Agronomic study of fenugreek grown under different inrow spacing and nitrogen levels in a paddy field of Iran. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 10: 544-550.
- Zhang, G., J. Li, M. Xu & S. Gu, 2009. Effects of chemical fertilizer and organic manure on rice yield and soil fertility. *Scientia Agricultura Sinica*, 42: 543-551.



Araştırma Makalesi (Research Article)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2024, 61 (3):321-334
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1405294>

Oğuzhan ÇALIŞKAN^{1*}

Derya KILIÇ¹

Safder BAYAZIT¹

Fatih ŞEN^{2*}

¹ Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, 31060, Antakya, Hatay, Türkiye

² Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, 35100, Bornova, İzmir, Türkiye

* Sorumlu yazar (Corresponding author):

ocaliskan@mku.edu.tr

Anahtar sözcükler: Erkencilik, incir, kalite, örtüaltı, verim

Keywords: Earliness, fig, quality, greenhouse, yield

Doğu Akdeniz Bölgesinde örtüaltı ve açık alanda yetiştirilen bazı incir çeşitlerinin erkencilik, verim ve meyve kalite özelliklerinin karşılaştırılması

Comparison of earliness, yield and fruit quality properties of some fig cultivars growing under greenhouse and open field in the eastern Mediterranean Region of Türkiye

Received (Alınış): 15.12.2023

Accepted (Kabul Tarihi): 31.05.2024

ÖZ

Amaç: Bu çalışma, Doğu Akdeniz Bölgesinde örtüaltında ve açık alanda yetiştirilen Bursa Siyahı ve Nazareth incir çeşitlerinin verim ve meyve kalite özelliklerini karşılaştırmak amacıyla 2020 ve 2021 yıllarında sürdürülmüştür.

Materyal ve Yöntem: Çalışmada örtüaltında ve açıkta yetiştirilen çeşitlerde, bazı fenolojik, verim ve meyve kalite özellikleri incelenmiştir. Ayrıca meyvelerin kabuk ve et rengi L*, a* ve C* değeri olarak belirlenmiştir.

Araştırma Bulguları: Örtüaltı yetiştiriciliğinin Bursa Siyahı çeşidinde 10 ile 13 gün, Nazareth çeşidinde ise 10 günlük bir erkencilik sağladığı belirlenmiştir. Bursa Siyahı çeşidinde en yüksek meyve ağırlığı açık alandan (65.19 g) elde edilirken, Nazareth çeşidinde örtüaltından (36.50 g) elde edilmiştir. Nazareth çeşidinin suda çözünebilir toplam kuru madde miktarı (SÇKM) içeriği hem örtüaltında (%21.07) hem açık alanda (%22.17), Bursa Siyahı çeşidinden (sırasıyla, %20.73 ve %20.54) daha yüksek bulunmuştur. Örtüaltında yetiştirilen Bursa Siyahı çeşidinde, 2020 ve 2021 yıllarındaki dekara verim değerleri (sırasıyla, 0.164 ton/da ve 0.394 ton/da) açık alana göre (sırasıyla, 1.667 ton/da ve 2.257 ton/da) daha düşük bulunmuştur.

Sonuç: Bursa Siyahı ve Nazareth çeşitlerinin iyilop ürünlerinin örtüaltı yetiştiriciliğinde erkenci yetiştiricilik için önemli avantajlar sağladığı, bununla birlikte daha uzun süreli araştırma sonuçları ile daha net sonuçlar elde edilmesi gerekmektedir.

ABSTRACT

Objective: This study was carried out to compare the yield and fruit quality characteristics of Bursa Siyahı and Nazareth fig cultivars grown under greenhouse and open field, in 2020 and 2021, in the eastern Mediterranean Region of Türkiye.

Material and Methods: In the study, some phenological, yield, and fruit quality characteristics of the cultivars grown in greenhouse and open field were compared. In addition, fruit skin and flesh color were measured as L*, a*, and C* values with a colorimeter.

Results: Greenhouse cultivation provided earliness of 10 to 13 days in Bursa Siyahı and 10 days in Nazareth. While the highest fruit weight was obtained from the open field (65.19 g) in Bursa Siyahı, the highest fruit weight was obtained from the greenhouse (36.50 g) in Nazareth. The total soluble solid (TSS) content of Nazareth cultivar grown in greenhouse (21.07%) and open field (22.17%) was found higher than Bursa Siyahı cultivar (20.73% and 20.54%, respectively). The yield values per decare (0.164 tons/da and 0.394 tons/da, respectively) of Bursa Siyahı grown in greenhouse were lower than the open field (1.667 tons/da and 2.257 tons/da, respectively).

Conclusion: Bursa Siyahı and Nazareth cultivars provide significant advantages for early ripening in main crop products in greenhouse cultivation, however, it is necessary to obtain detailed results with longer-term research.

GİRİŞ

Birim alandan yüksek verim alınması ile küçük alanların ekonomik kullanılmasına imkan veren örtüaltı yetiştiriciliği, aynı zamanda yıl içerisinde düzenli bir işgücü kullanımı sağlaması nedeniyle Türkiye'deki en önemli tarımsal faaliyetlerden birisi haline gelmiştir. Özellikle sebze ve süs bitkilerinin üretiminde kullanılan örtüaltı sistemleri son yıllarda meyve yetiştiriciliğinde kullanılmaktadır (Tüzel & Öztekin, 2015). Turfanda meyve yetiştiriciliğinde öncelikle erkenci çeşitlerin kullanılması yanında bu çeşitlerin örtüaltı yetiştiriciliği ile daha da erkencilik sağlanabilmektedir. Örtüaltı meyve yetiştiriciliğinde erkencilik en önemli nedenlerinden birinin sera içi sıcaklığının dış ortam sıcaklığından yüksek olmasından kaynaklanmaktadır (Çalışkan et al., 2021; Kılıç & Çalışkan, 2022). Ayrıca Kaşka vd. (1981), erkenci meyve yetiştiriciliği için enlem derecesinin çok önemli diğer bir etken olduğunu ve aynı kayısı çeşitlerinin 1 enlem derecesi fark bulunan alanlar arasında 4-5 günlük erkencilik sağlandığını bildirmişlerdir.

Türkiye'nin Güney Ege ve Akdeniz Bölgeleri sahip oldukları subtropik iklim, yıl boyu sebze üretimine uygun olmanın yanı sıra, soğuklama gereksinimi düşük erkenci meyve yetiştiriciliğinde büyük alan ve avantajlara sahiptir (Tüzel & Öztekin, 2015). Bayazıt vd. (2021), Türkiye'de örtüaltı meyve yetiştiriciliğinin tamamına yakınının Akdeniz Bölgesinde gerçekleştirildiği ve bu bölgede 789.604 da alanda toplam 576.552 ton meyve üretildiğini bildirmişlerdir. Örtüaltında yaygın yetiştirilen meyve türlerinin çilek, muz, kayısı, şeftali-nektarin ve erik türleri olduğu bildirilmekte ve erkenci yetiştirilen ürünlerin büyük kısmı yurtdışına ihraç edilmektedir.

İncir (*Ficus carica* L.) subtropik ve ılıman iklim kuşağının sıcak kesimlerinde yayılış gösteren bir meyve türüdür (Aksoy et al., 2003) ve Türkiye incirin orijin alanları içerisinde yer almaktadır (Çalışkan & Dalkılıç, 2022). Türkiye'nin sofralık incir yetiştiriciliğinde, Bursa Siyahı çeşidi sahip olduğu üstün meyve kalite özellikleri ve taşımaya elverişli olması nedeniyle yetiştiricilik alanları artış göstermektedir. Bu çeşidin, Bursa iline göre Akdeniz Bölgesindeki yetiştiricilik alanlarında 15-20 günlük erkenci hasat yapılabilmektedir (Çalışkan vd., 2018). Bununla birlikte, Çalışkan & Kılıç (2022), kordon budama sisteminde yetiştirilen Bursa Siyahı çeşidinde meyve olgunlaşmasının Doğu Akdeniz Bölgesi ekolojisinde Temmuz sonu ile Ağustosun ilk haftasında başladığını ve meyve olgunlaşmasının Ağustosun ikinci haftası ile Eylül'ün ilk haftası arasında yoğunlaştığını bildirmişlerdir.

Dünyada örtüaltı incir yetiştiriciliği ile ilgili ilk çalışmalar iklim koşulları nedeniyle meyvenin korunması için 1985'li yıllardan sonra Japonya'da (Kamota, 1986; Hosomi et al., 2015) ve 2000'li yıllardan sonra Güney Kore (Lim et al., 2018) gibi Asya ülkelerinde yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu ülkelerde özellikle örtüaltı yetiştiriciliğe uygun olarak çift kollu ya da tek kollu kordon budama sisteminde Masui Dauphine (San Piero) çeşidi ile yetiştiricilik yapılarak hem hasat süresinin uzatılması hem de sezon dışı üretim yapılabilmektedir (Liao et al., 2018; Byeon & Lee, 2020). Bununla birlikte, Meksika (Mendoza-Castillo et al., 2017) ve İspanya (Melgarejo et al., 2007; Batless-delaFuente et al., 2022) gibi ülkelerde erkencilik ve birim alandan yüksek verim için örtüaltı incir yetiştiriciliği üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle Avrupa pazarında taze incirin görmüş olduğu talep, bu meyve türünün yetiştiriciliğine olan ilgiyi arttırmaktadır. Bu anlamda, taze incirde pazar boşluğunun bulunduğu haziran ayında ve temmuz ayının ilk yarısında olgunlaşan, kaliteli ve taşımaya dayanıklı erkenci çeşitler oldukça kıymetli görülmektedir (Çalışkan, 2012). Bununla birlikte, Türkiye'de incir çeşitlerinin örtüaltındaki performansları ile ilgili herhangi bir bilgiye şimdiye kadar rastlanmamıştır.

Bu çalışma, örtüaltında ve açık alanda yetiştirilen Bursa Siyahı ve Nazareth incir çeşitlerinin erkencilik, verim ve meyve kalite özelliklerini karşılaştırmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmadan elde edilecek sonuçlar, dökülgen ve partenokarp meyve tutan çeşitlerin örtüaltı ve açık alandaki performanslarının belirlenmesi için önemli görülmektedir.

MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışma, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümüne ait araştırma ve uygulama arazisinde (Enlem: 36°13' Kuzey, boylam: 36°09' Batı ve deniz seviyesinden yükseklik: 117 m) 2020 ve 2021 yıllarında yürütülmüştür. Çalışma materyalini oluşturan Bursa Siyahı ve Nazareth çeşitlerine ait fidanlar 5 tekerrürlü ve her tekerrürde bir bitki olmak üzere, örtüaltı ve açık alana Mayıs 2017 tarihinde 3x3 m dikim mesafesi ile dikilmişlerdir. Çalışmada kullanılan Bursa Siyahı çeşidinin orijini Bursa ili olup, ülkemizin ihraç ettiği en önemli sofralık incir çeşididir. Nazareth çeşidi, İsrail orijinli olup, ilkbahar ve yaz ürünlerini olgunlaştırabilen sofralık bir çeşittir. Bu çeşitlere dikim yılından itibaren iki kollu kordon budama sistemi uygulanmıştır. Bu budama sisteminde yaklaşık 1.5 m uzunluğunda olan her bir ana kol üzerinde 20-25 adet meyve dalı oluşturulur ve hasat sonrasında bu dallar 1.5-2 cm'den kesilerek her yıl yenilenirler (Çalışkan vd., 2018). Budama uygulamaları açık alandaki çeşitlerde ekim ayı sonunda ve örtüaltında kasım ayı içerisinde gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle, Nazareth çeşidinde yellop meyvesini oluşturacak meyve dalları da budanmış olup, her iki çeşitte yaz ürünü meyveleri değerlendirmeye alınmıştır. Ayrıca, Nazareth çeşidinde zayıf gelişen sürgünlerde (sürgün çapı <0.5 cm) budama yapılmamıştır ve bu sürgünler oluşan yellop meyvelerinde sadece doğuş tarihleri alınmıştır.

Çalışmada kullanılan plastik sera 10.5 m genişliğe ve 22 m uzunluğa sahiptir. Seranın yan yüksekliği 2 m olup, çatı yüksekliği 4 m'dir. Serada tüm havalandırmalar kış süresince açık bırakılmış olup, 20 Ocak tarihi itibarıyla sera havalandırmaları kapatılmıştır. Güneşli günlerde, sera içerisindeki hava sıcaklıklarının 25°C'nin üzerine çıktığında sera yan havalandırmaları saat 10.00 ile 16:00 arasında açılmıştır.

Örtüaltı ve açık alandaki bitkiler haziran ayına kadar 10 gün arayla ve meyve olgunlaşma başlangıcında hasat tamamlanana kadar, meyvede çatlama miktarını azaltmak için, 15'er gün arayla damlama sulama ile sulanmışlardır (Çalışkan & Kılıç, 2022). Örtüaltı ve açıktaki Bursa Siyahı çeşidinde yeterli meyve tutumunu sağlamak için Çalışkan et al. (2017) tarafından Doğu Akdeniz Bölgesinden ümitvar olarak seçilmiş olan erkek incir meyveleriyle ilekleme yapılmıştır.

Çalışma kapsamında bitkilerin 3. (2020) ve 4. (2021) yaşındaki bazı fenolojik, meyve verim ve kalite özellikleri iki yıl süreyle karşılaştırılmıştır. Çeşitlerde fenolojik gözlemlerden ilk yapraklanma tarihi, yellop ve iyilop meyve doğuş tarihleri, meyve olgunlaşma başlangıcı gözlemleri; verim özelliklerinden ağaç başına verim (kg/ağaç) ve dekara verim (ton/da) ve meyve kalite özelliklerinden meyve ağırlığı (g), meyve eni (mm), meyve boyu (mm), meyve indeksi (en/boy), meyve boyun uzunluğu (mm), ostiolium açıklığı, SÇKM (%), pH ve titre edilebilir asit (TA) miktarı (%) belirlenmiştir. İncir meyvelerinin kabuk ve et rengi renk ölçer (Minolta CR-300) ile CIE L*, a* ve b* cinsinden ölçülmüştür (McGuire, 1982). Renk ölçümü öncesince cihaz, standart beyaz kalibrasyon plakası ile kalibre edilmiş ve elde edilen a* ve b* değerlerinden kroma (C*) = $(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$ hesaplanmıştır. Meyve kabuk renk ölçümleri meyvenin orta ekseninden karşılıklı iki bölgeden ve meyve eti ölçümleri meyvenin orta ekseninden kesildikten sonra karşılıklı iki yönden yapılmıştır (Çalışkan vd., 2018). Meyve kalite analizleri için Bursa Siyahı çeşidi meyve kabuğunda en az %90 renklenenin olduğu dönemde (Doğan, 2022) ve kahverengi-mor renkli incirler için (Nazareth ve Morgüz gibi) çeşide özgü rengin olduğu ve sert olum döneminde hasat edilmişlerdir (Ertan, 2016). Ayrıca, büyüme derece saatleri toplamları (BDST) ilk yapraklanmadan iyilop meyve doğuşu (BDST1) ve iyilop meyve doğuşundan meyve olgunlaşma başlangıcı (BDST2) dikkate alınarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamada, incirde en düşük büyüme sıcaklığı olarak 8°C ve en yüksek sıcaklık olarak 36°C dikkate alınmıştır (Souza et al., 2009).

Meyve kalite analizleri 3 tekrarlı ve her tekrarda 10 meyve olacak şekilde toplam 30 meyvede gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilerin varyans analizleri SAS versiyon 9.1 paket programı kullanılarak Faktöriyel Düzende Tesadüf Parselleri Deneme Desenine göre gerçekleştirilmiş (SAS, 2005) ve ortalamalar arasındaki farklılıklar LSD testi ile belirlenmiştir.

ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Fenolojik gözlemler

Örtüaltı ve açıkta yetiştirilen incir çeşitlerine ait fenolojik gözlem sonuçları Çizelge 1'de sunulmuştur. Buna göre, örtüaltında yetiştirilen Nazareth çeşidinin 2020 ve 2021 yıllarındaki ilk yapraklanma tarihlerinin (sırasıyla, 08 Mart ve 06 Mart) Bursa Siyahı'na göre (sırasıyla, 10 Mart ve 08 Mart) 2 gün daha erken olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, çeşitlerin açık alandaki ilk yapraklanma tarihlerinin Nazareth çeşidinde Bursa Siyahı'na göre 2020 yılında 5 gün ve 2021 yılında 8 gün erken gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Yetiştirme yerleri karşılaştırıldığında, ilk yapraklanma örtüaltında 2020 yılında 09 Martta ve 2021 yılında 07 Martta gerçekleşirken, açık alanda ilk yapraklanma, 2020 ve 2021 yıllarında, sırasıyla 23 Mart ve 26 Martta gerçekleşmiştir. Bursa Siyahı çeşidinde hem açık alanda hem de örtüaltında yellop meyve doğuşu meydana gelmediği için değerlendirme yapılmamıştır. Nazareth çeşidinde ise yellop meyve doğuşu, örtüaltında, 2020 yılında 15 Martta ve 2021 yılında 12 Martta oluşurken, açık alanda yellop meyve doğuşu 2020 yılında 20 Martta ve 2021 yılında 22 Martta oluşmuştur. Görüldüğü üzere, Nazareth çeşidinde örtüaltındaki yellop meyve doğuşunun açık alan göre 2020 yılında 5 gün ve 2021 yılında 10 gün erkenci olduğu saptanmıştır. İyilop meyve doğuşu örtüaltında yetiştirilen Nazareth çeşidinde 2020 ve 2021 yıllarında sırasıyla 22 Mayıs ve 21 Mayıs tarihlerinde meydana gelirken, Bursa Siyahı çeşidinde iyilop meyve doğuşu 2020 yılında 25 Mayıs'ta ve 2021 yılında 23 Mayıs'ta meydana gelmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Örtüaltı ve açıkta yetiştirilen incir çeşitlerinin fenolojik aşamaları

Table 1. Phenological stages of fig cultivars grown in greenhouse and open field

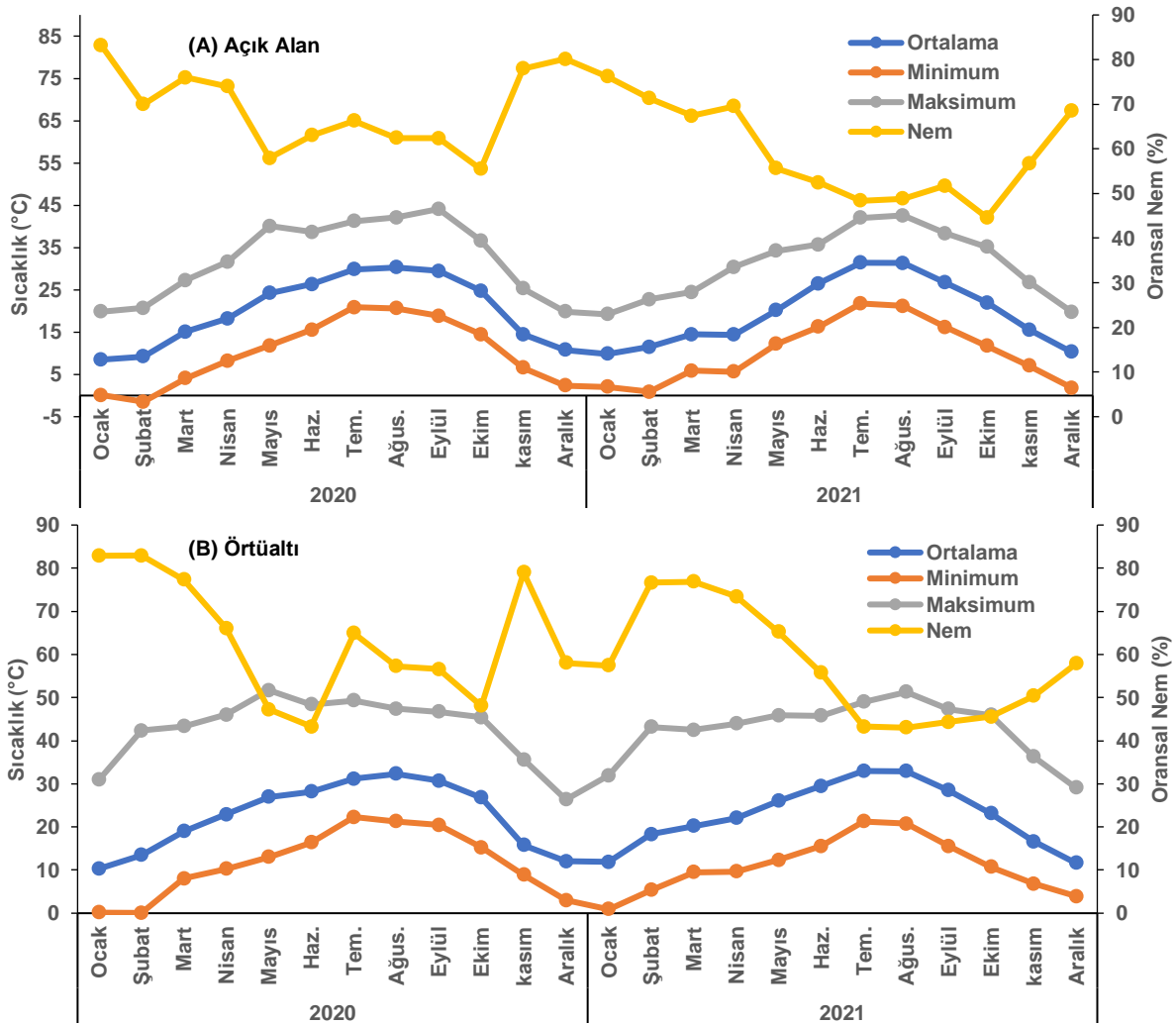
Değişkenler	İlk Yapraklanma Tarihi		Yellop Meyve Doğuş Tarihi		İyilop Meyve Doğuş Tarihi		Meyve Olgunlaşma Başlangıcı	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Örtüaltı								
Bursa Siyahı	10 Mart	08 Mart	-	-	25 Mayıs	23 Mayıs	20 Temmuz	15 Temmuz
Nazareth	8 Mart	06 Mart	15 Mart	12 Mart	22 Mayıs	21 Mayıs	12 Temmuz	10 Temmuz
Açık								
Bursa Siyahı	25 Mart	30 Mart	-	-	01 Haziran	04 Haziran	30 Temmuz	28 Temmuz
Nazareth	20 Mart	22 Mart	20 Mart	22 Mart	28 Mayıs	29 Mayıs	22 Temmuz	20 Temmuz
Yetiştirme Yeri								
Örtüaltı	09 Mart	07 Mart	15 Mart	12 Mart	24 Mayıs	22 Mayıs	16 Temmuz	13 Temmuz
Açık	23 Mart	26 Mart	20 Mart	22 Mart	29 Mayıs	01 Haziran	26 Temmuz	24 Temmuz

Açık alanda iyilop doğuş tarihi, örtüaltına benzer şekilde Nazareth çeşidinde 28 Mayıs (2020 yılı) ve 21 Mayıs (2021 yılı) tarihlerinde gerçekleşirken, Bursa Siyahı çeşidinde iyilop doğuşu 01 Haziran (2020 yılı) ve 04 Haziran (2021 yılı) tarihlerinde gerçekleşmiştir. Örtüaltındaki iyilop meyve doğuşunun açıkta yetiştiriciliğe göre 5 (2020 yılı) ile 10 gün (2021 yılı) erkencilik sağladığı tespit edilmiştir. Örtüaltında yetiştirilen çeşitlerin ilk yapraklanma, yellop ve iyilop meyve doğuşlarının açık alana göre daha erken gerçekleşmesinin sera içi sıcaklıkların açık alana göre daha yüksek olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Nitekim örtüaltındaki şubat, mart, nisan ve mayıs ayları ortalama sıcaklıkların açık alana göre 2020 yılında 3-4°C ve 2021 yılında 5-6°C daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Şekil 1).

Örtüaltında yetiştirilen Nazareth çeşidinde meyve olgunlaşma başlangıcı 2020 yılında 12 Temmuz'da ve 2021 yılında 10 Temmuz'da gerçekleşirken, Bursa Siyahı çeşidinde meyve olgunlaşma başlangıcı 2020 ve 2021 yıllarında sırasıyla 20 Temmuz ve 15 Temmuz tarihlerinde gerçekleşmiştir. Açıkta yetiştirilen Nazareth çeşidinin her iki yılda da (sırasıyla 22 Temmuz ve 20 Temmuz), örtüaltına benzer şekilde, Bursa Siyahı çeşidinden (sırasıyla, 30 Temmuz ve 28 Temmuz) 8 gün erken olgunlaştığı

belirlenmiştir. İncirde yetiştirme yerlerinin meyve olgunlaşması üzerine etkileri incelendiğinde, örtüaltı yetiştiriciliğin yetiştirme sezonuna bağlı olarak, 2020 yılında 10 gün ve 2021 yılında 11 günlük erkencilik sağladığı tespit edilmiştir.

İncirde meyve doğuşu çeşitlerin genetik özelliği yanında iklim koşulları tarafından da etkilenmektedir (Çalışkan & Polat, 2012a). Bu çalışmadaki, örtüaltındaki iyilop meyve doğuşundan olgunlaşmaya kadar geçen süredeki (mayıs, haziran ve temmuz ayları) ortalama sıcaklıkların açık alana göre 2020 yılında 2-3°C ve 2021 yılında 2-6°C daha yüksek olması (Şekil 1) ile meyve olgunlaşması için gereksinim duyduğu büyüme derece sıcaklıklarının daha erken karşılanmasından kaynaklandığı söylenebilir. Bu bulgularla uyumlu olarak, Batlles-delaFuente et al. (2022), incirde örtüaltı yetiştiriciliğin yetiştirilen çeşide bağlı olarak erkenci yetiştiricilik için uygun olduğunu bildirmişlerdir. Benzer şekilde diğer meyve türlerinden kayısı (Kılıç & Çalışkan, 2022) ve şeftali-nektarinde (Çalışkan et al., 2021) örtüaltı yetiştiriciliğin açıktaki yetiştiriciliğe göre erkenci olmasında büyüme derece sıcaklık toplamlarının daha erken karşılanmasından kaynaklandığı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir. Bu çalışmadan örtüaltındaki fenolojik aşamaların erken gerçekleşmesi ile ilgili bulguların araştırmacıların sonuçlarıyla uyumlu olduğu söylenebilir.



Şekil 1. Açık alanda (A) ve örtüaltındaki (B) sıcaklık ve nem değerleri (2020 ve 2021 yılları).

Figure 1. Temperature and humidity values in the open field (A) and greenhouse (B) (2020 and 2021 years).

İncir çeşitlerinin BDST değerleri incelendiğinde, örtüaltında 2020 yılında, Bursa Siyahı çeşidinin BDST1 değerinin (1819 gün-derece) Nazareth çeşidine göre (1795 gün-derece) daha yüksek olduğu, ancak 2021 yılında BDST1 değerinin Nazareth çeşidinde (1854) daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Çizelge 2).

Açık alanda yetiştirilen Nazareth çeşidinin BDST1 değerinin her iki yılda da (sırasıyla, 1624 gün-derece ve 1594 gün-derece) Bursa Siyahı'ndan (sırasıyla, 1622 gün-derece ve 1572 gün-derece) yüksek olduğu tespit edilmiştir. Çeşitlerin örtüaltındaki ortalama BDST1 değerinin 2020 (1807 gün-derece) ve 2021 (1842 gün-derece) yıllarında açık alana göre daha yüksek (sırasıyla, 1623 gün-derece ve 1583 gün-derece) olduğu saptanmıştır. Bursa Siyahı çeşidinin BDST2 değerinin, 2020 ve 2021 yıllarında, örtüaltında (sırasıyla, 1368 gün-derece ve 1297 gün-derece) ve açık alanda (1440 gün-derece ve 1317 gün-derece) Nazareth çeşidinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Çeşitlerin örtüaltındaki BDST2 değerlerinin her iki yılda da (sırasıyla, 1308 gün-derece ve 1261 gün-derece) açık alana göre (sırasıyla, 1392 gün-derece ve 1293 gün-derece) daha düşük olduğu saptanmıştır. Souza et al. (2009), Brezilya ekolojisinde incir çeşitlerinde BDST toplamının ortalama 1955 ile 2200 gün-derece arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmadaki çeşitlerin BDST toplamı (BDST1+BDST2), örtüaltında 2569 gün-derece ve açık alanda 2685 gün-derece olarak belirlenmiştir. Ayrıca, çalışmamızda yer alan her iki çeşitte de BDST1 değerlerinin BDST2 değerinden daha yüksek olduğu ve incirde sürgün gelişim dönemindeki sıcaklık toplamı ihtiyacının meyve gelişim periyoduna göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara benzer olarak, Ferraz et al. (2020), incir çeşitlerinin vegetatif büyüme dönemindeki sıcaklık toplamının hasat dönemine göre daha yüksek olduğunu ve Troyano gibi geççi çeşitlerin BDST toplamının (4.577 gün-derece) Roco de Valinhos gibi (3.512 gün-derece) erkenci çeşitlere göre daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Çizelge 2. Örtüaltı ve açıkta yetiştirilen incir çeşitlerinin büyüme derece sıcaklık toplamları

Table 2. Growth degree temperature totals of fig cultivars grown in greenhouse and open field

Değişkenler	BDST1		BDST2	
	2020	2021	2020	2021
Örtüaltı				
Bursa Siyahı	1819	1830	1368	1297
Nazareth	1795	1854	1248	1225
Açık				
Bursa Siyahı	1622	1572	1440	1317
Nazareth	1624	1594	1344	1269
Yetiştirme Yeri				
Örtüaltı	1807	1842	1308	1261
Açık	1623	1583	1392	1293

BDST: Büyüme derece sıcaklık toplamı.

Verim özellikleri

Ağaç başına verim bakımından, 2020 yılında örtüaltında yetiştirilen Nazareth çeşidinin ağaç başına verim değerinin (2.33 kg/ağaç) Bursa Siyahı'ndan (1.49 kg/ağaç) daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 3). 2021 yılında çeşitlerin örtüaltı yetiştiricilikteki ağaç başına verim değerlerinin istatistiksel olarak önemli farklılığa sahip olmadığı saptanmıştır. Açıkta yetiştirilen Bursa Siyahı'nın 2020 ve 2021 yıllarındaki, ağaç başına verim değerinin (sırasıyla 15.02 kg/ağaç ve 20.34 kg/ağaç) Nazareth çeşidinden (sırasıyla 6.18 kg/ağaç ve 6.35 kg/ağaç) daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yetiştirme yerinin ağaç başına verime etkileri karşılaştırıldığında, örtüaltında ağaç başına verim değerleri 2020 ve 2021 yıllarında sırasıyla 1.91 kg/ağaç ve 3.67 kg/ağaç olarak belirlenirken, bu verim değerinin açık alanda 2020 yılında

10.60 kg/ağaç ve 2021 yılında 13.34 kg/ağaç olduğu belirlenmiştir. Bu verilere benzer olarak, örtüaltında yetiştirilen incir çeşitlerinin dekara verim değeri 2020 yılında Nazareth çeşidinde daha yüksek olduğu (0.164 ton/da) tespit edilmiştir. Açık alanda en yüksek dekara verim değerine her iki yılda da Bursa Siyahı çeşidi (sırasıyla, 1.667 ton/da ve 2.257 ton/da) sahip olmuştur. Açıkta yetiştirilen incir çeşitlerinin 2020 ve 2021 yıllarındaki dekara verim değerlerinin (sırasıyla, 1.177 ton/da ve 1.481 ton/da) örtüaltına göre (sırasıyla, 0.212 ton/da ve 0.407 ton/da) daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Çizelge 3. Örtüaltı ve açıkta yetiştirilen incir çeşitlerinde verim özellikleri

Table 3. Yield characteristics of fig cultivars grown in greenhouse and open field

Değişkenler	Ağaç Başına Verim (kg/ağaç)		Dekara Verim (ton/da)	
	2020	2021	2020	2021
Örtüaltı				
Bursa Siyahı	1.49 ±0.10 b	3.78 ±0.28	0.164 ±0.01 b	0.394 ±0.00
Nazareth	2.33 ±0.21 a	3.56 ±0.03	0.259 ±0.02 a	0.418 ±0.03
LSD (%5)	0.29	Ö.D.	0.03	Ö.D.
Açık				
Bursa Siyahı	15.02 ±3.27a	20.34 ±0.26 a	1.667 ±0.36a	2.257 ±0.03 a
Nazareth	6.18 ±0.03 b	6.35 ±0.22 b	0.686 ±0.00 b	0.704 ±0.02 b
LSD (%5)	5.23	0.54	0.58	0.59
Yetiştirme Yeri				
Örtüaltı	1.91 ±0.47 b	3.67 ±0.22 b	0.212 ±0.05 b	0.407 ±0.02 b
Açık	10.60 ±5.27 a	13.34 ±7.66 a	1.177 ±0.58 a	1.481 ±0.85 a
LSD (%5)	4.81	6.97	0.54	0.77

Aynı sütundaki farklı harfler önemli farklılıkları göstermektedir ($p < 0.05$).

Bu çalışmada, örtüaltında yetiştirilen Nazareth çeşidinin yaz ürününden elde edilen dekara verim değerleri (0.686 ton ve 0.704 ton), Yablowitz et al. (1998)'in İsrail ekolojisinde net örtü altındaki yaz ürününe ait değerlere (0.5-0.7 ton) benzer olduğu görülmüştür. Melgarejo et al. (2007), İspanya'da partenokarp Super Fig 1 çeşidinde serada topraksız kültür yetiştiriciliğinde yaptıkları çalışmada, dekara verimin bitki yaşına bağlı olarak 4.5 ton ile 8.1 ton arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Mendozo-Castillo et al. (2017), Meksika'da örtüaltında saksıda yetiştirilen Netzahualcoyotl çeşidinde meyve veriminin 4.01 ton/da ile 10.95 ton/da arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmadan örtüaltından elde edilen verim değerlerinin Melgarejo et al. (2007) ve Mendozo-Castillo et al. (2017)'nin bulgularından düşük olduğu ve bunun birim alana dikilen bitki sıklığı yanında çeşitlerin verimliliğinden kaynaklandığı söylenebilir. Nitekim Battles-delaFuente et al. (2022), İspanya'nın güneyinde yer alan Almeria bölgesinde örtüaltı incir yetiştiriciliği üzerine yapmış oldukları çalışmada, incirin örtüaltında meyve yetiştiriciliği için iyi bir alternatif ürün olabileceğini ve 4. yaştan itibaren ekonomik verim elde edilebileceğini ancak bu sonuçların seçilen çeşide bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini bildirmişlerdir. Bununla birlikte, dökülgen incir çeşitlerinde yeterli meyve verimi için ilekleme işlemi çok kritik öneme sahip olup, ileklemenin yetersiz kalması durumunda verim kayıpları yanında meyve kalite özelliklerinde düşüşler meydana geldiği araştırmacılar tarafından ifade edilmektedir (Çalışkan & Bayazit, 2012, Yaman & Çalışkan, 2014).

Meyvenin fiziksel özellikleri

Örtüaltında ve açıkta yetiştirilen Bursa Siyahı ve Nazareth çeşitlerinde meyvenin bazı fiziksel özelliklerinin istatistiksel olarak önemli farklılıklar gösterdiği tespit edilmiştir (Çizelge 4). Örtüaltında yetiştirilen Bursa Siyahı çeşidinin ortalama meyve ağırlığı ve meyve eni değerlerinin (sırasıyla, 52.52 g ve 45.77 mm) Nazareth çeşidinden (sırasıyla, 36.50 g ve 37.74 mm) daha yüksek olduğu belirlenmiştir. İncirde küresel meyve şekli özellikle ambalajlama ve taşıma/pazarlama açısından istenilen bir özelliktir.

Bu özellik bakımından yetiştirme yerlerinin çeşitlerin meyve şeklini etkilemediği belirlenmiştir. Bursa Siyahı çeşidi hem açık alanda hem de örtüaltında küresel (0.9-1.1) meyve şekline sahip olurken, Nazareth çeşidi uzun oval (<0.9) meyve şekline sahip olmuştur.

İncir çeşitlerinde meyve boyu değerlerinin örtüaltında yetiştiricilikte ve yetiştirme yerlerinden istatistiksel olarak etkilenmediği belirlenmiştir. Örtüaltında en yüksek meyve boyun uzunluğu ve ostiolium açıklığı Bursa Siyahı çeşidinden (sırasıyla, 13.92 mm ve 5.71 mm) elde edilmiştir. Benzer şekilde açıkta yetiştirilen Bursa Siyahı'nın meyve ağırlığı (65.19 g), meyve eni (49.91 mm), meyve boyu (46.17 mm), boyun uzunluğu (11.43 mm) ve ostiolium açıklığı (7.30 mm) değerlerinin Nazareth çeşidinden (sırasıyla, 29.82 g, 36.40 mm, 40.82 mm, 1.72 mm, 3.71 mm) daha fazla olduğu saptanmıştır. Meyve eni, meyve boyu ve ostiolium özelliklerinin yetiştirme yerleri tarafından istatistiksel olarak önemli düzeyde etkilenmediği saptanmıştır. Bununla birlikte, meyve ağırlığı, meyve eni ve meyve boyu değerlerinin açıkta yetiştiricilikte (sırasıyla, 47.51 g, 43.15 mm ve 43.49 mm) örtüaltına göre (sırasıyla, 44.51 g, 41.76 mm ve 42.63 mm) daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ancak, örtüaltında yetiştirilen çeşitler daha yüksek meyve boyun uzunluğuna sahip olmuşlardır. Bu sonuçlarla uyumlu olarak Byeon & Lee (2020), Masui Dauphine incir çeşidinde serada 51.6 mm olan meyve uzunluğunun açık alanda 52.7 mm olduğunu bildirmişlerdir. Meyve iriliği taze ve kuru incirde önemli bir kalite özelliğidir (Şen, 2022) ve bu özellik çeşidin genetik özelliği yanında ekolojiye, teknik ve kültürel uygulamalara göre de değişkenlik gösterebilmektedir (Aksoy & Flaishman, 2022; Can, 2022; İrget & Meriç, 2022). Bununla birlikte, dökülgen (Ahi Koşar et al., 2022) ve partenokarp çeşitlerde (Gaaliche et al., 2011; Rosianski et al., 2016) tozlayıcının doğrudan meyve iriliğini etkilediği bildirilmiştir. Ayrıca, Mendozo-Castillo et al. (2017), Meksika'da örtüaltında yetiştirilen Netzahualcoyotl incir çeşidinde meyve ağırlığının bitkideki gövde sayısına bağlı olarak 52.37 g (6 gövdeli) ile 58.45 g (4 gövdeli) arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Bununla birlikte, Flaishman (2023), incirde hava sıcaklıklarının 40°C'nin üzerine çıkması durumunda, yüksek sıcaklık stresi nedeniyle fotosentez oranı ve karbonhidrat üretiminin azalarak meyve iriliğinde yaklaşık %20 oranında düşüş meydana geldiğini bildirmiştir. Çalışmamızda, örtüaltındaki Bursa Siyahı çeşidinin meyve iriliğinin azalmasında maksimum sıcaklıkların meyve gelişim periyodu süresince 40°C'nin üzerine çıkmasının benzer bir etki oluşturduğu söylenebilir. Nazareth çeşidinde örtüaltındaki meyve iriliğinin yüksek olmasında verimin düşük olması yanında orijini itibarıyla sıcaklığa toleransının yüksek olmasından kaynaklı olduğu belirtilebilir.

Çizelge 4. Örtüaltı ve açıkta yetiştirilen incir çeşitlerinin meyve fiziksel özellikleri (2020-2021 yılı ortalamaları)

Table 4. Fruit physical characteristics of fig cultivars grown in greenhouse and open field (2020-2021 averages)

Değişkenler	Meyve Ağırlığı (g)	Meyve Eni (mm)	Meyve Boyu (mm)	Meyve İndeksi (en/boy)	Boyun Uzunluğu (mm)	Ostiol açıklığı (mm)
Örtüaltı						
Bursa Siyahı	52.52±5.56 ^a	45.77±2.56 ^a	42.52±3.31	1.08± 0.05	13.92±2.65 ^a	5.71±1.45 ^a
Nazareth	36.50±2.51 ^b	37.74±1.24 ^b	42.74±2.41	0.88±0.03	7.82±1.59 ^b	3.83±0.97 ^b
LSD (%5)	5.54	2.59	Ö.D.	Ö.D.	2.81	1.58
Açık						
Bursa Siyahı	65.19±3.28 ^a	49.91±3.87 ^a	46.17±2.18 ^a	1.08±0.09	11.43±1.89 ^a	7.30±1.62 ^a
Nazareth	29.82±1.10 ^b	36.40±1.11 ^b	40.82±1.58 ^b	0.89±0.01	1.72±1.21 ^b	3.71±0.39 ^b
LSD (%5)	3.15	3.66	2.45		2.04	1.51
Yetiştirme Yeri						
Örtüaltı	44.51±9.32 ^b	41.76±4.61	42.63±2.76	0.98±0.11	10.87±3.81 ^a	4.76±1.53
Açık	47.51±18.62 ^a	43.15±7.56	43.49 3.33	0.98±0.11	6.58±5.29 ^b	5.50±2.18
LSD (%5)	2.76	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.	1.90	Ö.D.

Aynı sütundaki farklı harfler önemli farklılıkları göstermektedir (p<0.05).

Kimyasal analizler ve renk özellikleri

Çizelge 5'te görüldüğü üzere, örtüaltında ve açıkta yetiştiricilikte en yüksek SÇKM değeri Nazareth çeşidinde (sırasıyla, %21.07 ve %22.17) belirlenmiştir. Örtüaltında yetiştirilen Nazareth çeşidi 5.01 ile en yüksek pH değerine sahip olmuştur. Açıkta yetiştiriciliğin çeşitlerin pH değerini istatistiksel olarak önemli etkilemediği saptanmıştır. Örtüaltında yetiştiriciliğin meyvenin asit içeriğini istatistiksel olarak önemli düzeyde etkilememiştir.

Açıkta yetiştirilen Bursa Siyahı çeşidinin asit içeriğinin (%0.23), Nazareth çeşidinden (%0.18) daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Örtüaltında yetiştirilen çeşitlerin SÇKM/TA oranı değerleri arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık tespit edilmemiştir. Bununla birlikte, örtüaltında yetiştirilen Nazareth çeşidinde SÇKM/TA oranı 110.89 ve Bursa Siyahı çeşidinde 109.11 olarak belirlenmiştir. Açıkta yetiştirilen Nazareth çeşidinin SÇKM/TA değeri (123.17) Bursa siyahı çeşidine göre (89.30) daha yüksek bulunmuştur.

Yetiştirme yerinin incir çeşitlerinin SÇKM, pH ve TA miktarına istatistiksel olarak önemli düzeyde etkilemediği belirlenmiştir. Yetiştirme yerlerine göre, Bursa Siyahı ve Nazareth çeşitlerinde, sırasıyla SÇKM değerleri %20.90 ve %21.36; pH değerleri 4.81 ve 4.98 ve TA miktarı %0.19 ve %0.21 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, örtüaltında yetiştirilen çeşitlerin SÇKM/TA değeri (110.00) açık alana göre (106.23) daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Çizelge 5. Örtüaltı ve açıkta yetiştirilen incir çeşitlerinde meyvenin kimyasal özellikleri (2020-2021 yılı ortalamaları)

Table 5. Fruit chemical characteristics of fig cultivars grown in greenhouse and open field (2020-2021 averages)

Değişkenler	SÇKM Miktarı (%)	pH	TA Miktarı (%)	SÇKM/TA
Örtüaltı				
Bursa Siyahı	20.73±2.53 ^b	4.62±0.51 ^b	0.19±0.04	109.11±8.38
Nazareth	21.07±1.41 ^a	5.01±0.08 ^a	0.19±0.01	110.89±14.98
LSD (%5)	0.29	0.47	Ö.D.	Ö.D.
Açık				
Bursa Siyahı	20.54±1.72 ^b	4.96±0.18	0.23±0.04 ^a	89.30±14.60 ^b
Nazareth	22.17±1.05 ^a	5.01±0.16	0.18±0.01 ^b	123.17±5.59 ^a
LSD (%5)	1.83	Ö.D.	0.09	24.38
Yetiştirme Yeri				
Örtüaltı	20.90±1.95	4.81±0.40	0.19±0.03	110.00±12.50 ^a
Açık	21.36±1.61	4.98±0.17	0.21±0.04	106.23±19.50 ^b
LSD (%5)	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.	3.91

Aynı sütündeki farklı harfler önemli farklılıkları göstermektedir (p<0.05).

Mendoza-Castillo et al. (2017), Meksika'da örtüaltında yetiştirilen Netzahualcoyotl incir çeşidinde SÇKM miktarının bitkideki gövde sayısına bağlı olarak %17.69 (6 gövdeli) ile %21.14 (8 gövdeli) arasında değişim gösterdiğini bildirmişlerdir. Ayrıca, Byeon & Lee (2020), Kore ekolojisinde açıkta yetiştirilen 'Masui Dauphine' incir çeşidinin SÇKM ve TA miktarı değerlerinin örtüaltına göre daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmamızdan elde edilen açıkta yetiştirilen incir çeşitlerinin SÇKM ve TA miktarının örtüaltı yetiştiriciliğe göre daha yüksek olduğuna dair sonuçlar Byeon & Lee (2020)'nin bulgularıyla uyumlu bulunmuştur.

İncirde SÇKM/TA oranı tat sınıflandırılması için kullanılabilir ve meyve olgunlaşma durumu yanında iklim koşulları, ürün yükü ve meyvenin tozlanma durumu meyve tadını etkilemektedir (Çalışkan & Polat, 2008; Gaaliche et al., 2011; Çalışkan & Polat, 2012b). Bu çalışmada, örtüaltında ve açıkta yetiştirilen Nazareth çeşidinin 'tatlı' (101-150) meyve tadına sahip olduğu, ancak Bursa Siyahı çeşidinin örtüaltında 'tatlı' ve açıkta 'orta' (51-100) düzeyde tada sahip olduğu saptanmıştır. Bursa Siyahı çeşidinin

örtüaltındaki meyvelerinin daha tatlı olmasının meyvedeki titre edilebilir asit içeriğinin daha düşük düzeyde oluşmasından kaynaklandığı ifade edilebilir. Bu durum çeşidin sıcaklık stresine olan toleransına bağlı olarak meyve asitlerinin yüksek sıcaklıklarda solunum metabolitleri olarak tüketilmesi nedeniyle meyvenin asit içeriğinde azalmalara neden olmasından kaynaklandığı söylenebilir (Sugiura et al., 2023). Ayrıca, seradaki maksimum sıcaklıkların, her iki yılda da, meyve gelişim periyodu süresince 40°C'nin üzerinde seyretmesine rağmen Nazareth çeşidinin asit içeriğinde önemli farklılıklar görülmemesinin çeşidin genetik özelliği yanında sıcaklığa olan toleransının yüksek olduğunun bir göstergesi olabilir.

Örtüaltında yetiştirilen Nazareth çeşidinin meyve kabuk renginin açıklığı-koyuluğunu ifade eden L* değerlerinin 2020 ve 2021 yıllarında (sırasıyla, 45.70 ve 49.35) Bursa Siyahı'ndan (sırasıyla, 27.97 ve 39.50) daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Çizelge 6). Benzer şekilde açıkta yetiştirilen Nazareth çeşidinde de meyve kabuk rengi değerleri (sırasıyla, 44.75 ve 50.34) her iki yılda da Bursa Siyahı'ndan (sırasıyla, 32.19 ve 39.77) yüksek bulunmuştur. Yetiştirme yerleri karşılaştırıldığında açıkta yetiştirilen incir çeşitlerinin örtüaltına göre daha açık meyvelere sahip olduğu saptanmıştır. Kahverengi kabuk rengine sahip Nazareth çeşidinin meyve parlaklığının hem örtüaltında hem de açıkta Bursa Siyahı'ndan yüksek bulunmasının çeşidin kabuk renk özelliğini kontrol eden genetik özelliğinden kaynaklandığı söylenebilir. Nitekim incirde yapılan çalışmalarda kahverengi ve açık renkli çeşitlerin meyve kabuk açıklığı, siyah renkli incirlere göre yüksek olduğu bildirilmiştir (Çalışkan & Polat, 2012b; Ercişli et al., 2012).

Çizelge 6. Örtüaltı ve açıkta yetiştirilen incir çeşitlerinde meyve kabuk renk özellikleri

Table 6. Fruit skin color characteristics of fig cultivars grown in greenhouse and open field

Değişkenler	L*		a*		C*	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Örtüaltı						
Bursa Siyahı	27.97±0.03 ^b	39.50±13.52 ^b	11.08±0.03 ^a	8.13±1.18 ^a	52.91±0.08 ^a	40.55±9.63 ^a
Nazareth	45.70±0.88 ^a	49.35±0.67 ^a	1.19±3.26 ^b	0.40±0.08 ^b	24.03±0.94 ^b	27.31±0.42 ^b
LSD (%5)	1.41	2.17	4.26	1.79	2.81	1.54
Açık						
Bursa Siyahı	32.19±1.22 ^b	39.77±1.34 ^b	11.21±2.14 ^a	15.74±3.70 ^a	41.17±7.94 ^a	27.00±2.44
Nazareth	44.75±1.59 ^a	50.34±1.97 ^a	3.75±1.67 ^b	0.48±2.92 ^b	27.66±2.75 ^b	27.70±2.03
LSD (%5)	3.21	3.82	3.36	7.55	13.47	Ö.D.
Yetiştirme Yeri						
Örtüaltı	36.83±9.73 ^b	44.42±10.28 ^b	6.13±5.80 ^b	3.86±2.49 ^b	38.47±15.83	33.93±9.48
Açık	38.47±9.16 ^a	45.05±10.12 ^a	7.48±3.95 ^a	8.11±2.88 ^a	34.41±9.11	27.35±6.12
LSD (%5)	2.15	1.31	0.69	1.11	Ö.D.	Ö.D.

Aynı sütündeki farklı harfler önemli farklılıkları göstermektedir (p<0.05).

Meyve kabuğunda yeşilden (negatif değerler) kırmızıya (pozitif değerler) renk değişimini gösteren a* değerinin siyah meyve kabuk rengine sahip olan Bursa Siyahı'nda 2020 ve 2021 yıllarında hem örtüaltında (sırasıyla, 11.08 ve 8.13) hem de açıkta (11.21 ve 15.74) yetiştiricilikte kahverengi kabuk rengine sahip Nazareth çeşidinden (örtüaltında; sırasıyla 1.19 ve 0.40 ve açıkta; sırasıyla 3.75 ve 0.48) daha yüksek olduğu saptanmıştır. Açıkta yetiştirilen çeşitlerde meyve kabuk rengi a* değerlerinin örtüaltına göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, meyve kabuk rengi parlaklığı-canlılığı ile matlığı-donukluğunu ifade eden C* değerinin (düşük değerler rengin matlığını göstermektedir) genel olarak örtüaltında ve açıkta yetiştirilen Bursa Siyahı'nın Nazareth çeşidine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu verilere göre, Bursa Siyahı'nın kabuk renginin daha parlak ve canlı bir görünüme sahip olduğu saptanmıştır. Yetiştirme yerlerinin C* değerine etkileri her iki yılda da istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Ancak, açık alandaki çeşitlerin 2020 ve 2021 yıllarında C* değerlerinin (sırasıyla, 34.41 ve 27.35) örtüaltına göre (sırasıyla, 38.47 ve 33.93) daha düşük olduğu görülmüştür (Çizelge 6). Bu sonuçlara benzer olarak Byeon & Lee (2020), açıkta yetiştirilen 'Masui Dauphine' çeşidinde meyve kabuk renginin matlığının örtüaltına göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Örtüaltı meyve yetiştiriciliğinde çeşidin kendine özgü meyve kabuk rengini oluşturması istenilen özelliklerden biridir. Bu bakımdan, örtüaltında yetiştirilen Bursa Siyahı ve Nazareth çeşitlerinin kendi meyve kabuk renk özelliklerini genel olarak gösterdikleri ve bunun ticari yetiştiricilik için kabul edilebilir olacağı düşünülmektedir. Ayrıca, örtüaltında haziran ayından itibaren sıcaklıkların 35°C'nin üzerine çıkması nedeniyle tüm havalandırmaların açılması ve seraya giren güneş ışınlarının renk oluşumu için yeterli gelmesinin de renklenmeyi olumlu etkilediği söylenebilir. Bununla birlikte, örtüaltı yetiştiricilikte meyve kabuk renklenmesinin meyve türüne bağlı olarak değişkenlik gösterdiği bilinmektedir. Bu bakımdan, örtüaltında yetiştirilen kırmızı renkli kayısı çeşitlerinde renklenme sorunu yaşarken (Lang et al., 2014; Kılıç & Çalışkan, 2022), şeftali-nektarinlerde açıkta yetiştiriciliğe benzer şekilde kırmızı renk oluşumu gerçekleştiği (Çalışkan et al., 2021; Demiral & Ülger, 2021) araştırmacılar tarafından bildirilmiştir.

Meyve et renginin L* değer 2020 ve 2021 yıllarında, en yüksek örtüaltında (sırasıyla, 42.61 ve 47.33) ve açık alanda (46.43 ve 45.46) yetiştirilen Bursa Siyahı'nda elde edilmiştir (Çizelge 7). Açık alanda yetiştirilen çeşitlerin 2020 yılındaki meyve et rengi L* değeri (39.03) örtüaltına göre (34.46) daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 7. Örtüaltı ve açıkta yetiştirilen incir çeşitlerinde meyve eti renk özellikleri

Table 7. Fruit flesh color characteristics of fig cultivars grown in greenhouse and open field

Değişkenler	L*		a*		C*	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Örtüaltı						
Bursa Siyahı	42.61±0.03 ^a	47.33±3.15 ^a	13.89±0.03 ^a	13.01±4.58	21.48±0.09 ^a	29.95±3.64 ^a
Nazareth	28.32±0.93 ^b	35.10±0.94 ^b	10.90±1.55 ^b	13.62±0.98	13.66±1.77 ^b	17.94±1.14 ^b
LSD (%5)	2.19	5.26	2.97	Ö.D.	3.26	6.11
Açık						
Bursa Siyahı	46.43±2.48 ^a	45.46±4.11 ^a	15.44±0.17 ^b	13.09±3.03	26.25±0.63 ^a	28.70±3.25 ^a
Nazareth	31.63±1.43 ^b	34.74±0.42 ^b	17.69±0.19 ^a	13.53±0.54	24.21±0.17 ^b	19.07±0.31 ^b
LSD (%5)	4.59	6.62	0.41	Ö.D.	1.05	5.23
Yetiştirme Yeri						
Örtüaltı	35.46±7.85 ^b	41.22±7.01	12.39±1.91 ^b	13.32±1.95	17.57±4.43 ^b	23.95±7.01
Açık	39.03±8.31 ^a	40.10±6.43	16.57±1.24 ^a	13.31±2.98	25.23±1.19 ^a	23.89±5.67
LSD (%5)	1.04	Ö.D.	2.15	Ö.D.	4.21	Ö.D.

Aynı sütündeki farklı harfler önemli farklılıkları göstermektedir (p<0.05).

Örtüaltında 2020 yılında, en yüksek meyve etinin a* değeri Bursa Siyahı'nda belirlenirken, açık alanda en yüksek meyve eti a* değeri Nazareth çeşidinde belirlenmiştir. Bu yılda açık alandaki çeşitlerin meyve et rengi örtüaltına göre daha yüksek a* değerine sahip olmuştur. Ancak, 2021 yılında örtüaltı ve açıkta yetiştiricilik yanında yetiştirme yerlerinin meyve etinin a* değerini istatistiksel olarak önemli düzeyde etkilemediği saptanmıştır. En düşük C* değeri hem örtüaltında hem de açık alanda Nazareth çeşidinde ölçülmüştür. 2020 yılında açıkta yetiştirilen çeşitlerin meyve et C* değerinin (25.23) örtüaltına göre (17.57) daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. 2021 yılında ise yetiştirme yerinin meyve eti C* değerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

SONUÇ

Akdeniz Bölgesi sahip olduğu erkenci ekoloji örtüaltı yetiştiriciliği ile birleştirildiğinde hem Türkiye'nin hem de Avrupa'nın en erkenci meyve yetiştiricilik alanını oluşturmaktadır. Ancak, bu bölgenin örtüaltı incir yetiştiriciliği potansiyelinin ortaya çıkarılması için detaylı araştırmalara gereksinim duyulmaktadır. Bu kapsamda yapılan çalışmada, örtüaltı incir yetiştiriciliğinde meyve olgunlaşmasının

açık alana göre 10 ile 11 günlük erkencilik sağladığı belirlenmiştir. Örtüaltında yetiştirilen Bursa Siyahı çeşidinde meyve iriliğinin açık alana göre azaldığı tespit edilirken, Nazareth çeşidinin örtüaltındaki meyve iriliğinin açık alana göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, örtüaltında yetiştirilen çeşitlerin açık alana göre ağaç başına verim ve dekara verim değerlerinde önemli düşüşler olduğu tespit edilmiştir. Dökülgen yapıdaki Bursa Siyahı çeşidinin örtüaltındaki verim değerlerinin açık alana göre, partenokarp meyve tutan Nazareth çeşidiyle karşılaştırıldığında, ciddi düşüşler gösterdiği belirlenmiştir. Dökülgen çeşitlerin örtüaltında yetiştiriciliği için özellikle ilekleme ile ilgili sorunların çözümüne yönelik detaylı (erkenci erkek incirlerin tespiti, erkek incirlerin örtüaltındaki performansı ve bunların ileklemede kullanılma potansiyeli vb.) araştırmalar yapılması gerektiği söylenebilir. Bununla birlikte, örtüaltında yetiştirilen Nazareth çeşidine ait yaz ürünü meyvelerinin temmuz ayının ilk yarısında olgunlaşması yanında meyve tadı ile erkenci yetiştiricilik için ön plana çıktığı söylenebilir. Sonuç olarak, örtüaltı incir yetiştiriciliği için partenokarp meyve tutan çeşitlerin önemli bir potansiyele sahip olduğu, ancak çeşitlerin örtüaltındaki adaptasyonlarının değerlendirilmesi ve sorunların tespiti/çözümü için daha çok çeşitle detaylı çalışmalara gereksinim duyulmaktadır.

Veri kullanılabilirliği

Veriler makul talep üzerine sağlanabilmektedir.

Yazar Katkıları

Çalışmanın konsepti ve tasarımı: OÇ, SB; örnek toplama: DK, OÇ; verilerin analizi ve yorumlanması: DK, OÇ, FŞ; istatistiksel analiz: DK; görselleştirme: OÇ, FŞ; makalenin yazımı: OÇ, SB, FŞ.

Çıkar çatışması

Bu çalışmada yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Etik Beyan

Bu araştırma için etik kurula ihtiyaç olmadığını beyan ederiz.

Finansal destek

Bu çalışma Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından finansal olarak desteklenmiştir (BAP, Proje No; 19.A.002). Yazarlar finansal destek için teşekkür eder.

Makale Açıklaması

Bu makale Editör Dr. Emrah ZEYBEKOĞLU tarafından düzenlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Ahi Koşar, D., M.B. Koşar, R.B. Oran & Ü. Ertürk, 2022. Effect of pollen sources on fruit set and quality of edible fig (*Ficus carica* L.) cv. 'Bursa Siyahı'. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 50 (3): 12831. <https://doi.org/10.15835/nbha50312831>.
- Aksoy, U. & M.A. Flaishman, 2022. "Fig Varieties, 403-415". In: *Advances in Fig Research and Sustainable Production* (Eds. M.A. Flaishman & U. Aksoy). CABI Pub., Boston, USA, 546 pp. <https://doi.org/10.1079/9781789242492.0023>.
- Aksoy, U., B. Balcı, H.Z. Can & S. Hepaksoy, 2003. Some significant of the research–work in Turkey on fig. *Acta Horticulturae*, 605: 173-181. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.605.26>.
- Batless-delaFuente, A., L.J. Belmonte-Ureña, M. Duque-Acevedo & F. Camacho-Ferre, 2022 . A profitable alternative for the spanish southeast: the case of production of figs in greenhouses. *Agronomy*, 12: 2577. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102577>.
- Bayazıt, S., O. Çalışkan & D. Kılıç, 2021. Akdeniz Bölgesinde örtüaltı meyve yetiştiriciliği. *Bahçe*, 50: 59-70.

- Byeon, S.E. & J. Lee, 2020. Fruit quality and major primary metabolites differ across production systems in cold-stored figs (*Ficus carica* L.). *Scientia Horticulturae*, 274: 109669. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109669>.
- Can, H.Z., 2022. "Fig Orchard Establishment, 83-96". In: *Advances in Fig Research and Sustainable Production* (Eds. M.A. Flaishman & U. Aksoy). CABI Pub., Boston, USA, 546 pp. <https://doi.org/10.1079/9781789242492.0007>.
- Çalışkan, O. & A.A. Polat, 2008. Fruit characteristics of fig cultivars and genotypes grown in Turkey. *Scientia Horticulturae*, 115: 360-367. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.10.017>.
- Çalışkan, O. & A.A. Polat, 2012a. Morphological diversity among fig (*Ficus carica* L.) accessions sampled from the Eastern Mediterranean Region of Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 26: 179-193. <https://doi.org/10.3906/tar-1102-33>.
- Çalışkan, O. & A.A. Polat, 2012b. Effects of genotype and harvest year on phytochemical and fruit quality properties of Turkish fig genotypes. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 10: 1048-1058. <https://doi.org/10.5424/sjar/2012104-2652>.
- Çalışkan, O. & S. Bayazıt, 2012. İncir yetiştiriciliğinde ilekleme ve önemi. *MKÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 17: 47-61.
- Çalışkan, O., 2012. Türkiye'de sofralık incir yetiştiriciliğinin mevcut durumu ve geleceği. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 26: 71-87.
- Çalışkan, O., S. Bayazıt, M. Ilgin & N. Karataş, 2017. Morphological diversity of caprifig (*Ficus carica* var. *caprificus*) accessions in the eastern Mediterranean region of Turkey: Potential utility for caprification. *Scientia Horticulturae*, 222: 46-56. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.05.008>.
- Çalışkan, O., S. Bayazıt, K. Gündüz & S. Kaya, 2018. Kordon budama sisteminde yetiştirilen Bursa Siyahı incir çeşidinin morfolojik özelliklerine ait ilk bulgular. *Bahçe*, 47: 1-5.
- Çalışkan, O., S. Bayazıt, K. Gündüz, D. Kılıç & S. Göktaş, 2021. Earliness, yield, and fruit quality characteristics in low chill peach-nectarines: a comparison of protected and open area cultivation. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 45: 191-202. <https://doi.org/10.3906/tar-2005-30>.
- Çalışkan, O. & D. Kılıç, 2022. "Effect of Cordon Pruning System on Yield and Fruit Quality Characteristics of 'Bursa Siyahı' Fig Cultivar, 131-146". In: *Ficus carica* Production, Cultivation and Uses (Ed. Z. Dalkılıç), Nova Science Publishing, New York, USA, 246 pp. <https://doi.org/10.52305/TPCS5872>.
- Çalışkan, O. & O. Dalkılıç, 2022. "Ancient History and Cultural Heritage of *Ficus carica* in Turkey, 1-24". In: *Ficus carica* Production, Cultivation and Uses (Ed. Z. Dalkılıç), Nova Science Publishing, New York, USA, 246 pp. <https://doi.org/10.52305/TPCS5872>.
- Demiral, S. & S. Ülger, 2021. Farklı uygulamaların plastik serada saksıda yetiştirilen bazı şeftali çeşitlerinin erkencilik ve meyve özellikleri üzerine etkilerinin araştırılması. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 34: 1-7. <https://doi.org/10.29136/mediterranean.695030>.
- Doğan, A., 2022. Effects of different oxygen levels with high-carbon dioxide atmosphere on postharvest quality of fresh fig under palliflex storage systems. *Horticulturae*, 8: 353. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050353>
- Ercişli, S., M. Tosun, H. Karlıdağ, A. Dzubur, S. Hadziabulic & Y. Aliman, 2012. Color and antioxidant characteristics of some fresh fig (*Ficus carica* L.) genotypes from Northeastern Turkey. *Plant Foods for Human Nutrition*, 67: 271-276. <https://doi.org/10.1007/s11130-012-0292-2>.
- Ertan, B., 2016. Bazı Sofralık İncir Çeşitlerinin Uygun Hasat Zamanı ve Depolama Performanslarının Belirlenmesi. *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Basılmamış) Doktora Tezi*, Aydın. 320s.
- Ferraz, R.A., S. Leonel, J.M.A. Souza, R.B. Ferreira, J.H. Modesto & L.L. Arruda, 2020. Phenology, vegetative growth, and yield performance of fig in Southeastern Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 55: e01192. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2020.v55.01192>.
- Flaishman, M.A., 2022. "Horticultural Practices under Various Climatic Conditions, 117-138". In: *Advances in Fig Research and Sustainable Production* (Eds. M.A. Flaishman & U. Aksoy). CABI Pub., Boston, USA, 546 pp. <https://doi.org/10.1079/9781789242492.0009>.
- Gaaliche, B., M. Trad & M. Messaoud, 2011. Effect of pollination intensity, frequency and pollen source on fig (*Ficus carica* L.) productivity and fruit quality. *Scientia Horticulturae*, 130: 737-742. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.08.032>.
- Hosomi, A., T. Isobe & Y. Miwa, 2015. Shoot growth and fruit production of the 'Masui Dauphine' variety of fig (*Ficus carica* L.) undergoing renewal long pruning. *Jarq-Japan Agricultural Research Quarterly*, 49: 391-397. <https://doi.org/10.6090/jarq.49.391>.

- İrget, M.E. & M.K. Meriç, 2022. "Soil Management, Fertilization, and Irrigation, 97-116". In: Advances in Fig Research and Sustainable Production (Eds. M.A. Flaishman & U. Aksoy). CABI Pub., Boston, USA, 546 pp. <https://doi.org/10.1079/9781789242492.0008>.
- Kamota, F., 1986. Protected cultivation of fruit trees in Japan. JARQ, 22: 108-113.
- Kaşka, N., C. Onur, S. Onur & A.Ç. Yastı, 1981. Akdeniz Bölgesi için Erkenci Kayısı Çeşitleri Seleksiyonu. TÜBİTAK-TOVAG, TOAG-ABBÜ-12, 31 s.
- Kılıç, D. & O. Çalışkan, 2022. "Effects of heat and bagging applications on early-ripening and fruit quality characteristics of some new apricot cultivars under protected cultivation, 1428-1438". Proceedings of the XIII International Scientific Agricultural Symposium. Bosnia and Herzegovina, 1461 pp.
- Lang, G., L. Sage & T. Wilkinson, 2014. High tunnel fruiting wall nectarines, apricots/apriums, and plum/pluots/plumcots: Post-establishment fruiting phase. Final Report. (Web page: <http://mihortsociety.com/data/uploads/14research/LangFinalReport2014.pdf>) (Date accessed: Ağustos 2023).
- Liao, Y., Q. Zhang & Y. Shen, 2018. Methods key to annual production of fig fruit in greenhouse. Acta Horticulturae Sinica, 45: 2437-2441. <https://doi.org/10.16420/j.issn.0513-353x.2017-0841>.
- Lim, J., J. You, J. Park & J. Moon, 2018. Trend of domestic fig industry and its implications. Agribusiness and Information Management, 10: 16-25. <https://doi.org/10.14771/AIM.10.1.2>.
- McGuire, R.G., 1992. Reporting of objective color measurements. HortScience, 27: 1254-1255. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.12.1254>.
- Melgarejo, P., J.J. Martínez, F. Hernández, D.M. Salazar & R. Martínez, 2007. Preliminary results on fig soil-less culture. Scientia Horticulturae, 111: 255-259. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.10.032>.
- Mendoza-Castillo, V.M., J.M. Vargas-Canales, G. Calderon-Zavala, M.C. Mendoza-Castillo & A. Santacruz-Varela, 2017. Intensive production systems of fig (*Ficus carica* L.) under greenhouse conditions. Experimental Agriculture, 53: 339-350. <https://doi.org/10.1017/S0014479716000405>.
- Rosianski, Y., Z.E. Freiman, S.M. Cochavi, Z. Yablovitz, Z. Kerem & M.A. Flaishman, 2016. Advanced analysis of developmental and ripening characteristics of pollinated common-type fig (*Ficus carica* L.). Scientia Horticulturae, 198: 98-106, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.11.027>.
- SAS Institute, 2005. SAS Online Doc. Version 9.1. SAS Institute, Cary, NC, USA.
- Souza, A.P., A.C. Silva, S. Leonel & J.F. Escobedo, 2009. Basic temperatures and thermal sum for the fig trees pruned in different months. Revista Brasileira de Fruticultura, 31: 314-322. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452009000200005>.
- Sugiura, T., M. Takeuchi, T. Kobayashi, Y. Omine, I. Yonaha, S. Konno & M. Shoda, 2023. Relationship between acid and soluble solid content of pineapple and temperature. The Horticultural Journal, 92: 227-235. <https://doi.org/10.2503/hortj.QH-055>.
- Şen, F., 2022. "Postharvest Handling of Dried Fig Fruit, 232-254". In: Advances in Fig Research and Sustainable Production (Eds. M.A. Flaishman & U. Aksoy). CABI Pub., Boston, USA, 546 pp. <https://doi.org/10.1079/9781789242492.0014>.
- Tüzel, Y. & G.B. Öztekin, 2015. Protected cultivation in Turkey. Chronica Horticulturae, 55: :21-26.
- Yablowitz, Z., G. Nir & A. Erez, 1998. Breba fig production in Israel: regular and pesticide-free systems. Acta Horticulturae, 480: 137-141. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1998.480.23>.
- Yaman, S. & O. Çalışkan, 2014. İncir'de (*Ficus carica* L.) tozlayıcının verim ve meyve kalite özelliklerine etkileri. MKU Ziraat Fakültesi Dergisi, 19: 34-46.



Araştırma Makalesi (Research Article)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2024, 61 (3):335-344
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1474602>

Barış ÇİPLİ¹

Galip KAŞKAVALCI^{2*}

¹ Syngenta Tarım Sanayi ve Ticaret A.Ş
Şenevler Mah. Ormanyolu Caddesi, 6108
Sokak, Doğapark Evleri, A Blok, 19/13,
63320, Karaköprü, Şanlıurfa, Türkiye

² Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki
Koruma Bölümü, 35100, Bornova, İzmir,
Türkiye

* Sorumlu yazar (Corresponding author):
galip.kaskavalci@ege.edu.tr

Anahtar sözcükler: Bitki paraziti nematodlar,
biyolojik mücadele, salisilik asit, sistemik
kazanılmış dayanıklılık

Keywords: Plant parasitic nematodes,
biological control, salicylic acid, systemic
acquired resistance

Hıyar (*Cucumis sativus*) bitkisinde Kök-ur nematodları (*Meloidogyne* spp.) ile mücadelede salisilik asit ve *Paecilomyces lilacinus* strain PL1'un birlikte kullanımı

The synergic usage effectiveness of salicylic acid and *Paecilomyces lilacinus* strain PL1 in the control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) in cucumber (*Cucumis sativus*) plant

* Bu makale Birinci Yazarın yüksek lisans tezinden özetlenmiştir.

Received (Alınış): 27.04.2023

Accepted (Kabul Tarihi): 01.06.2024

ÖZ

Amaç: Bu çalışmada hıyar bitkisinde salisilik asit ile birlikte, organik tarımda kullanımı yaygınlaşan Bio Nematon® (*Paecilomyces lilacinus*) SL ve WP formülasyonlarının *Meloidogyne incognita*'ya karşı kullanım olanakları araştırılmıştır.

Materyal ve Yöntem: Çalışma Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü Nematoloji Laboratuvarı'na ait iklim odasında 16:8 fotoperiyod süresi ve 27±3°C'de kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. Denemenin karakterlerini *Paecilomyces lilacinus* PL1 (Bio Nematon®) biyopreparatının SL ve WP formülasyonlarının ayrı ayrı ve salisilik asit (Carl Roth) ile kombine edilmiş uygulamaları, salisilik asit (Carl Roth) uygulaması, pozitif ve negatif kontrol oluşturmuştur. Negatif kontrol hariç tüm karakterlere *Meloidogyne incognita* (1500 J2/saksı) verilmiştir.

Araştırma Bulguları: Salisilik asit uygulaması pozitif kontrol ile karşılaştırıldığında kökteki ur oluşumu üzerinde %53 oranında azaltıcı etkiye sahip olduğu saptanmıştır. Salisilik asit + Bio Nematon® WP uygulamasında bu oran %51.3 iken, salisilik asit + Bio Nematon® SL uygulamasında ise %50.9 oranında azaltıcı etki saptanmıştır. Deneme sonunda topraktaki bulunan J2 sayıları pozitif kontrol ile kıyaslandığında salisilik asit uygulaması ve salisilik asit + Bio Nematon® SL uygulamasının topraktaki J2 sayısı üzerinde %34.1 azaltıcı etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Sonuç: Salisilik asit uygulamalarının bitki gelişimi üzerinde olumlu etkiye, kökteki ur oluşumu üzerinde de azaltıcı etkiye sahip olduğu saptanmıştır.

ABSTRACT

Objective: The objective of this study was to investigate the opportunities of using Bio Nematon® (*Paecilomyces lilacinus*) SL and WP formulations, which are widely used in organic farming, together with salicylic acid against *Meloidogyne incognita* in cucumber plants.

Material and Methods: The study was conducted in the climate chamber of the Nematology Laboratory of Ege University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection at 27±3°C with a controlled photoperiod of 16:8. The characters of the experiment consisted of SL and WP formulations of *Paecilomyces lilacinus* PL1 (Bio Nematon®) biopreparation individually and in combination with salicylic acid (Carl Roth), salicylic acid (Carl Roth) treatment, positive and negative control. All treatments except the negative control were infected with *Meloidogyne incognita* (1500 J2/pot).

Results: It was found that salicylic acid treatment had a 53% reduction effect on root knot infections when compared to the positive control. While this rate was 51.3% in salicylic acid + Bio Nematon® WP treatment, it was 50.9% in salicylic acid + Bio Nematon® SL treatment. When the number of J2 in the soil at the end of the experiment was analyzed compared to the positive control, it was determined that salicylic acid application and salicylic acid + Bio Nematon® SL application had a 34.1% reducing effect on the number of J2 in the soil.

Conclusion: It was found that salicylic acid applications had a positive effect on plant growth, but it decreases the effect on root knot infections.

GİRİŞ

Hıyar tek yıllık bir bitki olup anavatanı Hindistan'dır. Yetiştiriciliği ılıman ve subtropikal iklim kuşağı arasındaki geniş bir bölgede yayılım gösterir. Hıyarın dünyada üretim ve tüketiminin oldukça yaygın olduğu bilinmektedir. İçerdiği çeşitli besin değerleri nedeni ile insan beslenmesi açısından oldukça önemli bir yere sahiptir. Hıyar bitkisinin üretimini uzun yıllardan beri yapan Çin ile Türkiye, Rusya ve Ukrayna dünyada önemli üretici ülkelerdendir. Dünya genelinde 2021 yılında hıyar üretimi toplamı 1 890 160 ton olarak gerçekleşmiştir. En yüksek hıyar üretimi Çin'de yapılmakta olup, Türkiye onun ardından 2. sırada yer almaktadır (FAOSTAT, 2021).

Buna karşın, çiftçilerin hıyar üretiminde arzu ettikleri verimi almalarını engelleyen önemli zararlılar ve hastalıklar ile mücadele etmeleri gerekmektedir. Kök-ur nematodları (*Meloidogyne* spp.) bu zararlılar arasında önemli bir yere sahiptir. Kök-ur nematodlarının 2. dönem larvaları köklerde beslenmeleri sonucunda köklerde ur oluşumuna sebep olurlar. Oluşan bu urlar bitkinin topraktan su ve besin elementi alımını zorlaştırarak bitkinin bodurlaşmasına, büyüme ve gelişimin aksamasına ve meyve kalitesinin düşmesine neden olmaktadır (Echeverrigaray et al., 2010).

Kök-ur nematodları ile bulaşık sebze yetiştiriciliği yapılan tarım alanlarında, gerekli mücadele önlemleri alınmadığı takdirde ürün kayıpları, yetiştiriciliği yapılan bitki çeşidine, hassasiyetine ve zararlı yoğunluğuna göre değişiklik göstermekle birlikte genellikle %15-85'e kadar ulaşabilmektedir. Sera koşullarında yetiştirilen hıyar bitkilerinde ise %16-47 arasında ürün kaybına neden olabilmektedir (Netscher & Sikora, 1990).

Dünyada tropik ve subtropikal iklim bölgelerinde pek çok tür bulunmasına rağmen, *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) Chitwood, 1949, *Meloidogyne javanica* (Treub, 1885) Chitwood, 1919, *Meloidogyne arenaria* (Neal, 1889) Chitwood, 1949 ve *Meloidogyne hapla* Chitwood, 1949 türleri en yaygın ve ekonomik olarak önemli dört kök-ur nematodu türüdür (Netscher & Sikora, 1990). Türkiye'de de İzmir İli Ödemiş ve Kiraz ilçeleri turşuluk hıyar üretimi yapılan alanlarda, *Meloidogyne incognita* (%74,13) ve *M. javanica* (%25,87) türleri saptanmıştır (Cafarlı Ayhan & Kaşkavalcı, 2015).

Tarımsal üretimde geleneksel tarımdan modern tarım tekniklerine doğru geçilmesi gerekmektedir. Bitki koruma uygulamaları içerisinde yer alan pestisit kullanımının önemi günümüzde kaçınılmazdır ve modern tarımın bir bileşeni olarak görünmektedir. Tarımsal üretim sisteminin vazgeçilmez bir parçası olan pestisit kullanımı verim ve kaliteyi arttırmak için başvurulan mücadele yöntemlerindedir. Pestisit kullanımının kolaylığı, diğer mücadele yöntemlerine göre hızlı etki göstermesi ve ucuz olmasından dolayı en çok tercih edilen tarımsal mücadele yöntemidir (Akar & Tiryaki, 2018). Fakat pestisit kullanımının insan sağlığı, hayvan sağlığı ve çevreye olan olumsuz etkileri birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Bilinçsiz bir şekilde pestisit kullanımı, gıdalarda, toprakta ve suda kalıntı bırakıp, insan ve çevre sağlığını olumsuz etkilemektedir. Tüm dünyada tarımsal mücadele yönteminin başında gelen kimyasal mücadele yöntemi tarımsal sistemin ayrılmaz bir parçası olsa da kalıntı riski ve çevreye olan olumsuz etkilerinden dolayı organik tarım uygulamalarına olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır (Turhan, 2005).

Bitki koruma sorunlarının çözümünde yoğun olarak tercih edilen kimyasal ürünlerin olumsuz etkileri sonucu alternatif mücadele yöntemleri üzerine yapılacak araştırmalar günümüzde büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda nematodlara karşı bitkilerde uyarılmış dayanıklılık (SAR) konusu göze çarpmaktadır. Uyarılmış bitki dayanıklılığı bitkinin herhangi bir hastalık veya zararlı tarafından saldırıya uğradığı zaman bitkinin savunma sistemini aktif eden mekanizmadır. Bitkinin savunma sistemi dış saldırılara karşı bitkinin bağışıklık (immune) sisteminin aktivasyonuna yol açan protein ve kimyasalların üretilmesi ile tepki vermektedir. Uyarılmış bitki dayanıklılığı içinde yer alan Sistemik Kazanılmış Dayanıklılık (SAR) konukçuda farklı yolları uyarmaktadır. SAR'ı uyardığı bildirilen ilk bitki endojen kimyasalları arasında yer alan Salisilik asit, Pathogenesis-related (PR) proteinlerinin sentezini kodlayan genlerin aktivasyonuna neden olur (Tosun & Onan, 2020). Bitki dokusunda salisilik asit seviyesi arttığında bitkinin dayanıklılığı da artmaktadır (Kamle et al., 2020).

Bununla birlikte bazı biyopreparatlarının kullanımı sonucunda başarı elde edilmektedir. Bunlar arasında *Paecilomyces lilacinus* Samson, 1974 (Hypocreales: Ophiocordycipitaceae) en yaygın kullanılanlardandır. *Paecilomyces lilacinus*'un sporları çimlenir ve nematodun kutikulasına doğru nüfuz eder. Fungusun hifleri nematodun vulva ve anüs gibi vücut açıklıklarından girebilmektedir. Nematoda nüfuz eden fungus, nematodun vücut içeriği ile beslenerek nematodu öldürmektedir (IPL Biologicals, 2020). Salisilik asit ve *Paecilomyces lilacinus* ile ilgili ayrı ayrı çalışmalar olsa da ikisinin birlikte kullanımı ile ilgili herhangi bir çalışma bulunmadığı için böyle bir çalışma yapılmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Nematod saf kültürünün oluşturulması

Denemede kullanılan kök-ur nematodu popülasyonu, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü Nematoloji Laboratuvarı'na ait iklim odasında *Meloidogyne incognita* saf kültürünün çoğaltılması ile elde edilmiştir. Popülasyon çoğaltma işlemi için Beith alpha hıyar çeşidi kullanılmıştır. Fideler 3 yapraklı dönemde yarım litrelik saksılar içerisindeki 1:1 kum+torf karışımına aktarılmıştır. Bitkilerin kök boğazına yakın yerden açılan 5 cm derinlikteki deliklerden 1500 adet *M. incognita* larvası verilmiştir. Oluşturulan saf kültür iklim odası koşullarında 16:8 fotoperiyod süresi ve $27\pm 3^{\circ}\text{C}$ 'de yetiştirilmiştir. Bitkiler, nematod inokülasyondan 2 ay sonra sökülüştür. Bitki kökleri topraktan narince arındırılarak köklerdeki yumurta kümeleri toplanmış, geliştirilmiş Baermann huni yöntemi ile yumurtadan çıkan 2. dönem larvalar elde edilmiştir. Elde edilen 2. dönem lavalarda denemelerde kullanılmak üzere $+4^{\circ}\text{C}$ 'de saklanmıştır.

Nematod teşhis çalışması

Taylor & Netscher (1974) tarafından verilen ve Hartman & Sasser (1985) tarafından geliştirilen "Perineal Örneklerin Preparasyon Yönteminden" yararlanılarak elde edilen kök-ur nematodlarının tür teşhisi için en önemli morfolojik ayrımlardan biri olan dişi bireyin vulva-anüs kısımlarını içeren perineal bölgelerden anal kesit alınmıştır (Hooper, 1986; Jepson, 1987). Teşhis için urlu bitki köklerinden ergin dişiler elde edilip Cavaness & Jensen (1955)'in "Santrifüj" tekniğinden yararlanılarak Coolen & D'Herde (1972) tarafından geliştirilen "Blender-Elek-Santrifüj Metodu" kullanılmıştır. Elde edilen kök-ur nematodu dişilerinin saklanması için $+4^{\circ}\text{C}$ 'de içinde TAF [Triethanolamin 2 ml, Formalin (%40'luk Formaldehid) 7 ml, saf su 90ml] olan tüplere aktarılmıştır. Teşhis için 25-30 adet kök-ur nematodu dişisi alınmış ve daimî preparatları yapılmıştır. Bu preparatlardaki örneklerin teşhis işlemi ise Jepson (1987) esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

İklim odası denemesinin kurulması

Hıyar yetiştiriciliğinde kök-ur nematodlarına karşı mücadelede biyopreparat ve Sistemik Kazanılmış Dayanıklılığı uyandırıp aktif eden salisilik asidin uygulanması ve yapılan uygulamaların nematoda karşı etkisini ve hıyar bitkisinin gelişimini incelemek amacıyla 3 Ekim 2021-3 Aralık 2021 tarihlerinde Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü'ne ait Nematoloji iklim odasında deneme kurulmuş olup, deneme sonunda elde edilen veriler Nematoloji Laboratuvarı'nda değerlendirilmiştir.

Bu çalışma Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü Nematoloji Laboratuvarı'na ait iklim odasında 16:8 fotoperiyod süresi ve $27\pm 3^{\circ}\text{C}$ 'de kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. Deneme 7 karakter ve 10 tekerrür olmak üzere toplam 70 adet saksı ile kurulmuştur. Denemede kullanılan yarım litrelik saksılar ve 1:1 oranında steril kum ve killi toprak karışımı ile doldurulmuştur

Denemede kullanılan Beith alpha hıyar çeşidi tohum ekimi yapılarak iklim odasında kontrollü ortamda yetiştirilmiştir. Hıyar fideleri 3 yapraklı döneme geldiğinde yarım litrelik saksılara şaşırılmıştır. Şaşırma işleminden 24 saat sonra nematod inokülasyonu, 48 saat sonra ise salisilik asit ve biyopreparat uygulamaları yapılmıştır.

Deneme karakterleri ve yapılan uygulamalar

Denemenin karakterlerini *Paecilomyces lilacinus* PL1 (Bio Nematon®) biyopreparatının SL ve WP formülasyonlarının ayrı ayrı ve salisilik asit (Carl Roth) ile kombine edilmiş uygulamaları, salisilik asit (Carl

Roth) uygulaması, pozitif ve negatif kontrol oluşturmuştur. Negatif kontrol hariç tüm karakterlere bitki kök boğazı etrafına iki farklı yönden açılan 5 cm derinliğindeki deliklerden 3 Ekim 2021 tarihinde *Meloidogyne incognita* (1500 J2/saksı) inokülasyonu yapılmıştır.

Deneme karakterleri Çizelge 1'de gösterilmiş olup, biyopreparat ve salisilik asit uygulamaları 15 günde bir olmak üzere toplamda 4 kez bitkilerin kök bölgesine verilmiştir. İlk uygulama hıyar bitkileri 3 yapraklı dönemdeyken gerçekleştirilmiştir. Nematod inokülasyonundan sonra bitkiler 8 hafta boyunca iklim odası koşullarında bakımları ve gerekli ölçümleri yapıldıktan sonra 3 Aralık 2021 tarihinde deneme sonlandırılmıştır.

Çizelge 1. Deneme karakterleri ve uygulama dozları

Table 1. Trial characters and doses in applications

Kısaltmalar	Deneme Karakterleri	Doz
BSL	<i>Paecilomyces lilacinus</i> strain PL1 (Bio Nematon®) SL	5 ml Bio Nematon®/1 l su
BWP	<i>Paecilomyces lilacinus</i> strain PL1 (Bio Nematon®) WP	5 g Bio Nematon®/1 l su
SA	Salisilik Asit	1.38 g Salisilik Asit/1 l su
SA+BSL	Salisilik Asit+ <i>Paecilomyces lilacinus</i> strain PL1 (Bio Nematon®) SL	1.38 g Salisilik Asit/1 l su +5 ml Bio Nematon®/1 l su
SA+BWP	Salisilik Asit+ <i>Paecilomyces lilacinus</i> strain PL1 (Bio Nematon®) WP	1.38 g Salisilik Asit/1 l su +5 g Bio Nematon®/1 l su
PK	Pozitif Kontrol	-
NK	Negatif Kontrol	-

Verilerin analizi

Deneme tamamlandıktan sonra elde edilen değerlerin varyans analizleri (ANOVA) için R istatistik yazılım programı kullanılmış olup, ortalamaların karşılaştırması LSD testine göre $P \leq 0.05$ düzeyinde yapılmıştır.

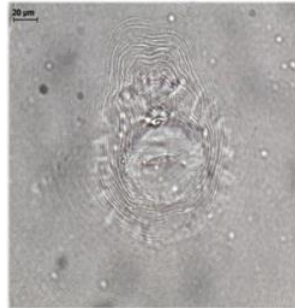
ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışma biyolojik kökenli bir biyopreparat olan *Paecilomyces lilacinus* ve Sistemik Kazanılmış Dayanıklılığı uyaran salisilik asitin birlikte kullanım olanaklarını ve nematodlara etkisini araştırmak amacıyla yapılmıştır. Yapılan uygulamaların nematodlar üzerindeki etkinliğini belirlemek için köklerdeki *Meloidogyne* spp.'a ait Zeck skala değerleri, topraktaki 2. dönem larva sayıları ve üreme oranları değerlendirilmiştir.

Uygulamaların hıyar bitkisine olan etkilerini değerlendirebilmek amacıyla bitkideki kök gelişim değerleri, kök yaş ağırlığı, kök kuru ağırlığı, yaprak sayısı ve bitki boyu da ölçülmüştür.

Nematod tür teşhisi

Deneme sonunda urlu köklerden elde edilen dişi bireylerden anal kesitlerinin alınıp incelenmesi sonucunda *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) türlerine ait bireylerin olduğu saptanmıştır (Şekil 1).

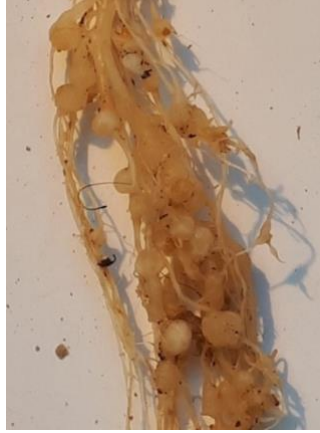


Şekil 1. Denemede kullanılan *Meloidogyne incognita* dışından hazırlanan perineal kesit.

Figure 1. Perineal pattern prepared from the female *Meloidogyne incognita* used in the experiment.

Uygulamaların hıyar bitkisinde *Meloidogyne incognita* zararı üzerindeki etkileri

Yapılan uygulamaların kökteki ur miktarı üzerindeki etkinliğini belirlemek amacıyla, deneme sonunda bitki kökleri, Zeck (1971) skalasına göre değerlendirilmiştir (Çizelge 2). Pozitif kontrol karakterinde *Meloidogyne incognita*'nın beslenmesi sonucu köklerde oluşan urlar Şekil 2'de yer almaktadır.



Şekil 2. *Meloidogyne incognita*'nın beslenmesi sonucu köklerde oluşan urlar.

Figure 2. Galls formed on roots as a result of feeding by *Meloidogyne incognita*.

Deneme sonunda yapılan uygulamaların 2 farklı istatistiksel grup oluşturduğu görülmektedir (Çizelge 2). Uygulama karakterlerinin kontrol deneme karakterine göre köklerdeki ur miktarında azaltıcı etkisi olduğu saptanmıştır. Deneme sonucunda yapılan uygulamalar pozitif kontrol ile kıyaslandığında, köklerdeki ur oluşumu üzerinde en yüksek azaltıcı etkiyi %53 oranı ile SA uygulaması göstermiştir. Bu uygulamayı sırası ile SA+BWP (%51.3), SA+BSL (%50.9), BWP (%41.8) ve BSL (%34.5) uygulamaları takip etmiştir.

Çizelge 2. Uygulamaların *Meloidogyne incognita*'nın hıyar bitkilerinde oluşturduğu urların Zeck skala değerleri ve köklerdeki ur oluşumunun pozitif kontrole göre azaltıcı etki oranı (%).

Table 2. Zeck scale values of the treatments on the galls formed by *Meloidogyne incognita* on cucumber plants and the reducing the effect rate of the gall formation on the roots as compared to the positive control (%).

Karakterler	Zeck Skala Değeri (X±SH)*	Azaltıcı Etki (%)	F (df); p
K (+)	6.67 ± 0.44 ^a	-	
SA	3.11 ± 0.38 ^b	53.00	
BSL	4.33 ± 0.55 ^b	34.50	
BWP	3.89 ± 0.42 ^b	41.80	F (5,48) = 8,944; p <0.0001
SA+BSL	3.22 ± 0.46 ^b	50.90	
SA+BWP	3.22 ± 0.43 ^b	51.30	

* Aynı harfi içeren ortalamalar LSD testine göre istatistiksel olarak farklı değildir (P≤0.05).

Bu çalışmada tek başına uygulanan SA ve salisilik asit + Bio Nematon® biyopreparatının WP ve SL formülasyon kombinasyonlarının hıyar bitkisinde zararlı olan *Meloidogyne incognita*'nın oluşturduğu köklerdeki urlanma üzerine pozitif kontrole kıyasla etkili olduğu saptanmıştır.

Uygulamaların topraktaki 2. dönem *Meloidogyne incognita* larva sayısına etkisi

Uygulama öncesi denemenin kurulacağı tüm saksılara 1500 adet 2. dönem larva verilmiştir. Çalışma sonunda topraktaki 2. dönem *Meloidogyne incognita* larvaları elde edilmiş, uygulamaların nematod popülasyonuna olan etkisini belirlemek amacıyla LSD testi yapılmıştır. LSD testinden elde edilen veriler Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 1. Topraktaki *Meloidogyne incognita* bireylerinin 2. dönemdeki larva sayısı (adet/100 gr toprak)**Table 3.** Number of *Meloidogyne incognita* J2 in soil (individuals/100 g soil)

Karakterler	Topraktaki J2 sayısı (X±SH)*	F (df); p	Azaltıcı etki (%)	Ro=Pf/Pi
K (+)	377.77 ± 57.00 ^{ab}		-	1.25
SA	248.88 ± 17.35 ^c		34.10	0.82
BSL	297.77 ± 66.03 ^{abc}	F (5,48) = 2,405; p <0.05	21.10	0.99
BWP	395.55 ± 40.24 ^a		-4.60	1.31
SA+BSL	248.88 ± 28.10 ^c		34.10	0.82
SA+BWP	262.22 ± 22.22 ^{bc}		30.60	0.87

* Aynı harfi içeren ortalamalar LSD testine göre istatistiksel olarak farklı değildir (P≤0.05).

Elde edilen veriler doğrultusunda topraktaki 2. dönem *Meloidogyne incognita* yoğunluğu en fazla karakter BWP (395.55±40.24) karakteri oluşturmuştur. BWP karakterinin ardından en fazla yoğunluk pozitif kontrol (377.77±57.00) karakterinde görülmüştür. Uygulama sonrası 2. dönem nematod larva sayısı en düşük SA (248.88±17.35) ve SA+ BSL (248.88±66.03) karakterlerinde görülmüştür. Topraktaki 2. dönem larva sayısı üzerinde SA ve SA+BSL uygulamaları %34.10 oranında bir etki sağlayıp, en azaltıcı etkiye sahip karakterleri oluşturmuşlardır.

Yapılan uygulamaların topraktaki 2. dönem *Meloidogyne incognita* sonuç popülasyonları üzerindeki azaltıcı etkisine bakıldığında, en başarılı sonuç SA (0.82) ve SA+BSL (0.82) deneme karakterlerinde saptanmıştır. BWP formülasyonu (1.31) uygulama karakterleri içinde en yüksek üreme oranına sahiptir.

Uygulamaların hıyar bitkisinde bitki gelişimi üzerindeki etkileri

Deneme süresince haftalık olarak bitki boyu ve yaprak sayısı kaydedilmiştir. Deneme sonunda uygulamaların hıyar bitkisine olan etkilerini değerlendirebilmek amacıyla bitkideki kök gelişim değerleri, kök yaş ağırlığı, kök kuru ağırlığı, yaprak sayısı ve bitki boyu ölçülmüştür. Ancak yapılan analizler sonucunda uygulamaların hıyar bitkilerinin sadece kök gelişim değeri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Uygulamaların kök gelişim değeri üzerindeki etkisi

Yapılan deneme sonuçlandırılırken bitkiler kök gelişim skalasına göre değerlendirilmiştir. BWP uygulaması dışında tüm uygulamaların kök gelişimi üzerinde arttırıcı etkisi olduğu saptanmıştır. Çizelge 4'e bakıldığında en yüksek arttırıcı etki SA+BSL (%50.00) uygulamasında gözlemlenmiştir. Bu uygulamayı sırası ile SA+BWP (%43.75) ve SA (%31.25) uygulamaları izlemiştir. BWP uygulamasının kök gelişimi üzerinde herhangi bir olumlu etkisi bulunmamıştır.

Çizelge 4. Uygulamaların bitki kök gelişim skalası (Feldmesser & Feder, 1995) değeri ve pozitif kontrole göre % arttırıcı etkisi.**Table 4.** Plant root development scale (Feldmesser & Feder, 1995) value and % increasing effect of the treatments as compared to the positive control.

Karakterler	Kök gelişim skalası (X±SH)*	F (df); p	Arttırıcı etki (%)
K (+)	1.60 ± 0.34 ^b		-
K (-)	3.20 ± 0.38 ^a		100
SA	2.10 ± 0.37 ^b	F (6,56) = 2.448; p <0.05	31.25
BSL	1.90 ± 0.34 ^b		18.75
BWP	1.50 ± 0.34 ^b		-
SA+BSL	2.40 ± 0.42 ^{ab}		50.00
SA+BWP	2.30 ± 0.33 ^{ab}		43.75

* Aynı harfi içeren ortalamalar LSD testine göre istatistiksel olarak farklı değildir (P≤0.05).

SONUÇ ve TARTIŞMA

Bu çalışmada Sistemik Kazanılmış Dayanıklılığı uyaran salisilik asit ve piyasada ticari olarak bulunan *Paecilomyces lilacinus* PL1 etkili maddeli biyolojik fungusitin birlikte kullanım olanakları araştırılmıştır. Yapılan çalışmada kök-ur nematoduna karşı başarısının yanı sıra bazı bitki gelişim parametreleri de ele alınmıştır. Bu çalışmalarda salisilik asitin tek başına kullanımında kontrol uygulama karakterine kıyasla köklerdeki ur miktarını %53 azalttığı gözlemlenmiştir. Benzer olarak Chinnasri et al. (2006) yaptığı bir çalışmada sistemik kazanılmış dayanıklılığı uyarıp kök-ur nematodu üzerinde etkili olan Acibenzolar-S-Methyl uygulaması yapılmış olup kontrol parseline göre %59 başarı göstermiştir. Benzer bir başka çalışmada Ganguly et al. (1999), kök-ur nematodlarına karşı 25-50 µg/ml salisilik asitin yapraktan ve topraktan uygulamalarının etkilerini araştırmışlardır. Rugby domates çeşidi kullanılarak kurulan denemede, topraktan 50 µg/ml salisilik asit uygulanan parselin kontrol parseline kıyasla kökteki ur miktarı üzerinde %50 oranında azaltıcı etki gösterdiği bildirilmiştir.

Uygulamaların topraktaki 2. dönem larva sayısı üzerindeki etkisi incelendiğinde salisilik asit uygulamasının kontrol karakterine göre %34 oranında azaltıcı etkisi olduğu saptanmıştır. Dura ve ark. (2016) tarafından yapılan benzer bir çalışmada biber bitkisinde kök-ur nematodlarına karşı yapraktan ve topraktan 3 mM/bitki, 6 mM/bitki ve 9 mM/bitki salisilik asit uygulamaları yapılmıştır. Yapılan uygulamalar içinde en başarılı sonuçları topraktan yapılan uygulamalar göstermiştir. Topraktan verilen 9 mM/bitki salisilik asit uygulamasının 2. dönem larva sayısını önemli ölçüde azalttığı bildirilmiştir. Yapılan çalışma içinde bitki gelişim parametreleri de karşılaştırılacak olursa bitki boyu ve yaprak sayısı bakımından 9 mM/bitki uygulama karakterinin kontrol uygulama karakterine göre arttırıcı etkisi olduğu bildirilmiştir. Mevcut çalışmada ise uygulama karakterleri, kontrol karakteri ile karşılaştırıldığında uygulamaların bitki gelişimi üzerinde anlamlı bir fark yaratmadığı, sadece kök gelişimi üzerinde gelişimi arttırıcı etki sağladığı gözlemlenmiştir. Meher et al. (2011), sera denemesinde domates bitkisinde *Meloidogyne incognita*'ya karşı 5.0 ve 10.0 µg/mL⁻¹ olmak üzere iki farklı dozda püskürtme yöntemi ile yapraklara (1 mL/fide) salisilik asit uygulaması yapmışlardır. 120 günün sonunda domates bitkilerindeki kök-ur oranı 0-5 skalasına göre değerlendirilmiş, kontrol parselinde 3.0'lık yüksek bir kök ur oranı ile karşılaşılmış SA uygulamaları yapılan parsellerde ise bu oran 1.8-2.1 olarak bildirilmiştir. Uygulamaların topraktaki 2. dönem larva üreme oranları üzerinde %8.3-19.7 oranında azaltıcı etkisi olduğu bildirilmiştir. Benzer şekilde Raddy & Korrat (2020), laboratuvar koşullarında salisilik asitin 2. dönem kök-ur nematodu (*Meloidogyne incognita*) larvalarına LC50 değeri 150.43 ppm ile nematisidal aktivite gösterdiğini saptamışlardır. Ayrıca, sera koşullarında domates bitkilerinde uygulama yapılmayan kontrol bitkileri (113 ur/kök) ile karşılaştırıldığında, Oxamil ve 300, 200 ve 100 ppm salisilik asit uygulamalarında sırasıyla (6.33, 12.67, 18.67 ve 28.67 ur/kök) değerleri elde edilmiş olup, bitki paraziti nematodların kontrolünde kimyasal nematisitlerin kullanımına güvenli bir alternatif olabileceği de bildirilmiştir.

Paecilomyces lilacinus PL1 SL ve WP formülasyonlarının köklerdeki ırlanma miktarına üzerindeki etkisi incelendiğinde, kontrol karakterine göre başarılı sonuç verdiği saptanmıştır. Yapılan uygulamalar sonucunda *P. lilacinus* PL1 SL formülasyonunun kökteki ırlanma miktarını kontrol karakterine kıyasla %34.5 oranında, *P. licaninus* PL1 WP formülasyon uygulama karakterinin kontrol karakterine kıyasla köklerdeki ırlanma miktarını %41.8 oranında azalttığı saptanmıştır. Bu çalışmaya benzer olarak Ürdün'de Al-Raddad (1995), tarafından yapılan bir saksı denemesinde *Meloidogyne javanica*'ya karşı *P. lilacinus* ve *Glomus mosseae*'nin etkinlikleri araştırılmıştır. Tek başına uygulanan *P. lilacinus* izolatları kontrol bitkisine göre kökteki ırlanmayı %64 oranında azaltmıştır. Birlikte uygulanan *G. mosseae* ile *P. lilacinus* uygulamalarının ırlanma oranları arasında herhangi bir önemli farklılık bulunamamıştır. Ancak bitki boyu, bitkinin yaş ve kuru ağırlığı bakımından *G. mosseae* ve *P. lilacinus* kombinasyonu bitki gelişimi açısından iyi bir sonuç vermiştir. Benzer olarak Hindistan'da Khan & Saxena (1997), tarafından yapılan bir çalışmada *M. javanica*'ya karşı *P. lilacinus*'un etkinliği araştırılmıştır. *Paecilomyces lilacinus* verilen bitkilerde kontrol karakterine göre kökteki ırlanma oranı %26 azalmıştır. Benzer çalışma olarak İzmir'de Peçen vd. (2013)'in yürüttüğü çalışmada domateste *Meloidogyne* spp.'ye karşı organik ve mikrobiyal gübreler ile birlikte *P. lilacinus* strain 251 ayrı ayrı ve birlikte uygulanmıştır. Tek başına uygulanan

P. lilacinus strain 251 uygulama karakteri kontrol karakterine kıyasla köklerdeki urlanma üzerinde %17.42 oranında azaltıcı etki gösterdiği tespit edilmiştir. Huang et al. (2016) tarafından Çin'de yapılan çalışmada benzer bir sonuç bildirilmiştir. Hıyar bitkisinde *M. incognita*'ya karşı *P. lilacinus* ve *Syncephalastrum racemosum* birlikte ve ayrı ayrı kullanılmıştır. *Paecilomyces lilacinus* verilen bitkilerde urlanma oranı %41,9 iken *S. racemosum* verilen bitkilerde urlanma %35,1 olarak saptanmıştır İkisinin birlikte kullanımı sonucu kökteki urlanma oranı %31,6 olarak saptanmıştır.

Mevcut çalışmada salisilik asit, *P. lilacinus* PL1 SL ve WP formülasyonlarının ayrı ayrı uygulandığı karakterlerde, uygulamaların kök gelişimi üzerinde kontrol grubuna kıyasla arttırıcı bir etkisi gözlenmemiş, fakat SL ve WP formülasyonlarının salisilik asit ile birlikte uygulandığı karakterlerde kök gelişimi üzerinde sırasıyla %50 ve %43.75 oranında arttırıcı etki sağladığı gözlemlenmiştir. Doğan ve ark. (2021) benzer olarak soya bitkisinde salisilik asitin çimlenme ve kök gelişim parametrelerini incelemek için gerçekleştirdikleri çalışmada kontrol karakterinde ortalama kök uzunluğu 11 cm iken, %100 mM salisilik asit verilen soya bitkilerinde 17 cm olarak saptanmıştır.

Bitkide Sistemik Kazanılmış Dayanıklılığı uyaran çeşitli uyarıcıların hem nematodun bitkide yaptığı zararı azaltıp hem de bitki gelişimini olumlu yönde etkilediği bilinmektedir. Sistemik Kazanılmış Dayanıklılığı aktif eden uyarıcılar ile ilgili arazi çalışmalarının artması gerekmektedir. *Paecilomyces lilacinus* PL1 ve salisilik asidin birlikte kullanımı ile ilgili sinerjik etkiyi elde etmek için farklı doz çalışmalarının da yapılması araştırılmaya değer görülmektedir.

TEŞEKKÜR

Çalışmamızın gerçekleştirmesi için ürün tedariki sağlayan Agrobest Grup Tarım İlaçları Tohumculuk İmalat İthalat İhracat San. ve Tic. A.Ş.'ye, nematod popülasyonu için yardımlarını esirgemeyen Zir. Yük. Müh. Esmeray Ayhan CAFARLI'ya, tez çalışmamın yürütülmesinde destek olan Zir. Yük. Müh. Deniz YAŞAR ve Zir. Yük. Müh. Esra PARTAL'a, verilerin istatistiksel değerlendirilmesinde desteklerini esirgemeyen Ar. Gör. Dr. Utku ŞANVER'e teşekkür ederiz.

Veri Kullanılabilirliği

Veriler makul talep üzerine sağlanabilmektedir.

Yazar Katkıları

Çalışmanın konsepti ve tasarımı: BÇ, GK; örnek toplama: BÇ, GK; verilerin analizi ve yorumlanması: BÇ, GK; istatistiksel analiz: BÇ, GK; görselleştirme: BÇ, GK; makalenin yazımı: BÇ, GK.

Çıkar Çatışması

Bu çalışmada yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Etik Beyan

Bu araştırma için etik kurula ihtiyaç olmadığını beyan ederiz.

Makale Açıklaması

Bu makale Konu Editörü Doç. Dr. Arzu YAZGI tarafından düzenlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Al-Raddad, A. M., 1995. Interaction of *Glomus mosseae* and *Paecilomyces lilacinus* on *Meloidogyne javanica* of tomato. Mycorrhiza, 5 (3): 233-236.
- Akar, Ö. & O. Tiryaki, 2018. Antalya ilinde üreticilerin pestisit kullanımı konusunda bilgi düzeyi ve duyarlılıkların araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 13 (1): 60-70

- Cafarlı Ayhan, E. & G. Kaşkavalcı, 2015. Ödemiş ve Kiraz (İzmir) ilçelerinde turşuluk hıyar (*Cucumis sativus* L.) alanlarında Kök-ur nematodları (*Meloidogyne* spp.)'nın tanımlanması ve yaygınlıkları. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 52 (2): 227-234. <https://doi.org/10.20289/euzfd.06338>
- Cavaness, F. R. & H. J. Jensen, 1955. Modification of the Centrifugal- flotation technique for isolation and concentration of nematodes and their eggs from soil and plant tissue. Proceedings of the Helminthological Society of Washington, 22 (2): 87-89.
- Chinnasri, B., B. S. Sipes & D. P. Schmit, 2006. Effect of inducers of systemic acquired resistance on reproduction of *Meloidogyne javanica* and *Rotylenchus reniformis* in pineapple. The Journal of Nematology, 38 (3): 319-325.
- Coolen, W. A. & C. J. D'Herde, 1972. Method for the Quantitative Extraction of Nematodes from Plant Tissue. Publication of the State Nematology and Entomology Research Station, 96, 9220, Merelbeke, Belgium, 77 pp.
- Doğan, M., A. Tura, C. Odabaşoğlu, Y. Sedeltun & M. İ. Odabaşoğlu, 2021. Salisilik asitin soya (*Glycine max* (L.) Merr) tohumlarının çimlenme ve gelişimine etkisi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 33 (2): 115-124.
- Dura, O., İ. Sönmez & K. C. Yıldırım, 2016. Biberde (*Capsicum annum* L.) salisilik asit uygulamalarının kök-ur nematodu (*Meloidogyne incognita*)'na ve bazı büyüme parametreleri üzerine etkileri. Bahçe, 45 (1): 31-39.
- Echeverrigaray, S., J. Zacaria & R. Beltrão, 2010. Nematicidal activity of monoterpenoids against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. Phytopathology, 100 (2): 199-203. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-100-2-0199>
- FAOSTAT, 2021. Value of agricultural production. (Web page: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QV>) (Date accessed: July 2023).
- Feldmesser, J. & W.A. Feder, 1995. Techniques involved in nematicide screening. Proceedings of the Florida State Horticultural Society, 68: 103-107.
- Ganguly, A., K. Sirohi, A. Pankaj & V. Singh, 1999. Salicylic acid induced resistance in tomato against *Meloidogyne incognita* racel. Indian Journal of Nematology, 29 (2): 182-184.
- Hartman, K. M. & J. N. Sasser, 1985. "Identification of *Meloidogyne* Species on the Basis of Differential Host Test and Perineal Pattern Morphology, 69-77". In: An Advanced Treatise on *Meloidogyne*, Vol. II. Methodology (Eds. K.R. Barker, C. C. Carter & J. N. Sasser). Printed by North Carolina State University Graphics, Raleigh, North Carolina, 223 pp.
- Hooper, D. J., 1986. "Handling, Fixing, Staining and Mounting Nematodes, 59-80". In: Laboratory Methods for Work with Plant and Soil Nematodes (Ed. J.F. Southey), Her Majesty's Stationery Office, London, 402 pp.
- Huang, W. K., J. K. Cui, S. M. Liu, L. A. Kong, Q. S. Wu, H. Peng, W. T. He, J. H. Sun & D. L. Peng, 2016. Testing various biocontrol agents against the root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) in cucumber plants identifies a combination of *Syncephalastrum racemosum* and *Paecilomyces lilacinus* as being most effective. Biological Control, 92 (1): 31-37. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.09.008>
- IPL Biologicals, 2020. Effective control of nematodes. (Web sayfası: <https://www.iplbiologicals.com/>) (Erişim tarihi: 25 Mart 2023).
- Jepson, S. B., 1987. Identification of Root-Knot Nematodes (*Meloidogyne* species). CAB International Institute of Plant Parasitology, Wallingford, Oxon, UK, 265 pp.
- Khan, T. A. & S. K. Saxena, 1997. Integrated management of root knot nematode *Meloidogyne javanica* infecting tomato using organic materials and *Paecilomyces lilacinus*. Bioresearch Technology, 61 (3): 247-250. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(97\)00024-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(97)00024-2)
- Kamle, M., R. Borah, H. Bora, A. K. Jaiswal, R. K. Singh & P. Kumar, 2020. "Systemic Acquired Resistance (SAR) and Induced Systemic Resistance (ISR): Role and Mechanism of Action Against Phytopathogens, 457-470". In: Fungal Biotechnology and Bioengineering (Eds. A. E.-L. Hesham, R. S. Upadhyay, G. D. Sharma, C. Manoharachary & V. K. Gupta). Springer International Publishing, Switzerland, 500 pp.
- Meher, H. C., V. T. Gajbhiy & G. Singh, 2011. Salicylic acid-induced glutathione status in tomato crop and resistance to root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood. Journal of Xenobiotics, 1 (1): 22-28. <https://doi.org/10.4081/xeno.2011.e>
- Netscher, C. & R. A. Sikora, 1990. "Nematode Parasites on Vegetables, 231-283". In: Plant Parasitic Nematodes in Suptropical and Tropical Agriculture (Eds. M. Luc, R. A. Sikora & J. Bridge) CAB International, 629 pp.
- Peçen, A., G. Kaşkavalcı & İ. Mıstanoglu, 2013. Organik domates yetiştiriciliğinde Kök-ur nematodları (*Meloidogyne* spp.)'na karşı bazı organik ve mikrobiyal gübrelere nematisidal etkinlikleri. Türkiye Entomoloji Dergisi, 37 (4): 513-522.
- Raddy, H. M. & E. E. E. Korrat, 2020. Nematicidal activity of acetylsalicylic acid comparing with oxamyl against root-knot nematode on tomato plants. Egyptian Academic Journal of Biological Sciences, F. Toxicology & Pest Control, 12 (2): 241-247. <https://doi.org/10.21608/EAJBSF.2020.127980>

- Taylor, D. P. & C. Netscher, 1974. An improved technique for preparing perineal patterns of *Meloidogyne* spp. *Nematologica*, 20 (2): 268-269.
- Tosun, N. & E. Onan, 2020. Bitki hastalıklarının entegre yönetiminde bitki immunitesi uyarıcılarının potansiyel kullanımı. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 57 (1):145-156. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.526102>
- Turhan, Ş., 2005. Tarımda sürdürülebilirlik ve organik tarım. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 11 (1): 13-24.
- Zeck, W. M., 1971. A rating scheme for field evaluation of Root-knot nematode infestation. *Pflanzenschutz Nachrichten, Bayer*. Published by Farbenfabriken Ag. Leverkusen, 24 (1): 141-144.



Araştırma Makalesi (Research Article)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2024, 61 (3):345-355
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1414830>

Hatice SİÇRAMAZ^{1*}

Gülşah KARABULUT¹

Semanur YILDIZ¹

¹ Sakarya Üniversitesi, Mühendislik
Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü,
54050, Serdivan, Sakarya, Türkiye

* Sorumlu yazar (Corresponding author):

haticesicramaz@sakarya.edu.tr

Anahtar sözcükler: *Chlorella vulgaris*,
erişte, kalite özellikleri, mikroalg,
zenginleştirme

Keywords: *Chlorella vulgaris*, erişte,
quality properties, microalgae, fortification

Chlorella vulgaris mikroalg ilavesiyle zenginleştirilmiş erişte üretimi

Production of erişte enriched with the addition of
Chlorella vulgaris microalgae

Received (Alınış): 05.01.2024

Accepted (Kabul Tarihi): 01.06.2024

ÖZ

Amaç: Bu çalışma *Chlorella vulgaris* ilaveli erişte formülasyonu geliştirmeyi ve mikroalg ilavesinin eriştenin besinsel, fizikokimyasal ve duyuşal özellikleri üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır.

Materyal ve Yöntem: Erişteye mikroalg ilavesinin kalite ve besinsel özelliklere etkisinin incelenmesi için, sade erişteye *C. vulgaris* mikroalgi %0.5 ve %2 konsantrasyonlarında eklenmiştir. Eriştenin besinsel bileşenleri (protein ve biyoaktif bileşik içeriği), pişirme özellikleri, sertliği ve duyuşal özellikleri analiz edilmiştir. Pişirme özellikleri belirlenirken, makarna için önerilen uluslararası yöntemler uygulanmıştır.

Araştırma Bulguları: Sade eriştede (kontrol grubu), %0.38 antioksidan aktivite ve 3.1 mg GAE/100 g kuru ağırlık fenolik içeriği belirlenmiştir. *C. vulgaris* eklenerek hazırlanan %0.5 ve %2 konsantrasyonlarındaki erişte örneklerinde ise antioksidan aktivite sırasıyla %12 ve %60 oranında artmış ve toplam fenolik madde içeriği sırasıyla 64.0 ve 76.3 mg GAE/100 g kuru ağırlık olarak saptanmıştır. Mikroalg ilavesiyle pişirme kayıplarında artış görülürken, ağırlık ve hacim parametrelerinde önemli bir değişiklik olmamıştır. Bununla birlikte, sade eriştenin protein içeriği, %2 mikroalg takviyesiyle %13 oranında artış göstermiştir. Eriştenin sertliği de mikroalg ilavesiyle artmıştır.

Sonuç: Bu çalışma, *C. vulgaris*'in eklenmesinin sadece sade eriştenin kalitesini korumakla kalmayıp aynı zamanda biyoaktif bileşiklerle zenginleştirdiğini göstermektedir. Gelecek çalışmalar mikrobiyolojik ve toksikolojik incelemeleri içermeli ve ticarileştirilmesi için potansiyel kullanım alanları göz önünde bulundurulmalıdır.

ABSTRACT

Objective: This study aims to develop *Chlorella vulgaris* added erişte formulation and examine the effects of microalgae addition on the nutritional, physicochemical, and sensory properties of erişte.

Material and Methods: To examine the effect of microalgae addition on the quality and nutritional properties of erişte, *C. vulgaris* microalgae were added to plain product at concentrations of 0.5% and 2%. The nutritional components (protein and bioactive compound content), cooking properties, hardness, and sensory characteristics of the erişte were analyzed. International methods recommended for pasta were used to determine cooking properties.

Results: In the control group (plain erişte), 0.38% antioxidant activity and 3.1 mg GAE/100 g dry weight of phenolic content were determined. In erişte samples prepared by adding *C. vulgaris* at concentrations of 0.5% and 2%, antioxidant activity increased by 12% and 60% respectively; and the total phenolic content was determined as 64.0 and 76.3 mg GAE/100 g dry weight respectively. The addition of microalgae has caused an increase in cooking losses, but there has been no significant change in weight and volume parameters. The protein content of plain erişte has increased by 13% with the addition of 2% microalgae. The hardness of the erişte has also increased with the addition of microalgae.

Conclusion: This study demonstrates that the addition of *C. vulgaris* not only preserves the quality of plain erişte but also enriches it with bioactive compounds. Future studies should include microbiological and toxicological examinations and consider potential areas of use for commercialization.

GİRİŞ

Erişte, bileşenleri ve üretim tekniğindeki benzerlikleri nedeniyle "Türk tipi noodle" olarak adlandırılan bir tahıl ürünüdür (Yılmaz Tuncel et al., 2017). Erişte hamuru; buğday unu, su ve tuz karışımıyla hazırlanmakta; bazı yörelerde ise formülasyona yumurta da eklenmektedir. Hazırlanan hamur, inceltildikten sonra uzun şeritler halinde kesilmekte ve akabinde istenilen uzunluğa küçültülerek kurutulmaktadır (Bilgiçli et al., 2011). Türkiye'de yaygın olarak üretilen bir ürün olmasına rağmen, Türk Gıda Kodeksi'nde "erişte" adıyla özel bir tanımı bulunmamaktadır. Ancak 2022 yılında, "Erzurum erişteleri" coğrafi işaretleme statüsü kazanmıştır (ETB, 2022). Coğrafi işaretleme un türü belirtilmediği sürece erişte hem *Triticum durum* hem de *Triticum aestivum* buğdaylarından üretilmektedir.

Tüketicilerin sağlıklı beslenmeye olan ilgisi, zenginleştirilmiş vegan ürünlere olan talebi artırmış ve bu doğrultuda ürün yelpazesini çeşitlendirme yönünde araştırmalar yoğunlaşmıştır. Literatürde, lif ve protein açısından zenginleştirilmiş eriştelere üzerine çeşitli çalışmalar bulunmakta olup (Yılmaz Tuncel et al., 2017; Göksel Saraç, 2021) farklı amaçlar için yulaf, mercimek, karabuğday ve siyez buğdayı gibi un kaynaklarıyla zenginleştirilen erişte çeşitleri geliştirilmiştir (Bilgiçli et al., 2011; Levent, 2019). Günümüzde üretilen gıda ürünlerinin sağlık üzerine etkilerinin değerlendirilmesinin ötesinde, sürdürülebilir yaşam biçimlerine olan katkılarının araştırılması da büyük bir önem arz etmektedir. Artan dünya nüfusuna bağlı olarak, alternatif ve sürdürülebilir besin kaynaklarına yönelik arayış her geçen gün artmaktadır. Bu alternatif kaynakların gıda üretim sistemlerine entegre edilmesi ve yeni ürün geliştirme çalışmalarının yürütülmesi son derece kritik bir öneme sahiptir. Sürdürülebilir ürünler, azaltılmış karbon ayak izi ve enerji verimliliği gibi özelliklerle daha düşük çevresel etkilere sahiptirler. Bu kapsamda, sürdürülebilir besin kaynaklarından biri olarak dikkat çeken mikroalglerin farklı ürün formülasyonlarında kullanımları farklı diyet taleplerini karşılama ve çevre-dostu gıda üretim stratejileri geliştirme açısından önem arz etmektedir.

Mikroalgler, milyonlarca yıl boyunca dünya okyanuslarında evrimleşen ve fotosentez yoluyla enerji üreten mikroskobik bitkisel organizmalardır. Geçmişten günümüze çeşitli alanlardaki araştırmalara konu olan alglerin özellikle çevresel sürdürülebilirlik, biyoyakıt üretimi ve su arıtma gibi amaçlarla kullanım potansiyeli keşfedilmiştir üzerine birçok çalışma yürütülmüştür (Brennan & Owende, 2010). Bu bağlamda, mikroalgler, gıda bilimi ve teknolojisi alanında da büyük ilgi görmekte olup farklı açılardan besleyici bir hazine olarak kabul edilmekte ve insan tüketimi için potansiyel bir kaynak olarak değerlendirilmektedir.

Besinsel açıdan, mikroalgler yüksek düzeyde protein, omega-3 yağ asitleri, vitaminler ve mineraller içermektedirler. Özellikle vegan ve vejetaryen beslenme tarzını benimseyenler için değerli bir bitkisel protein kaynağı olarak öne çıkmaktadırlar. Bu özellikleri sayesinde, mikroalgler dengeli ve sağlıklı bir beslenme için önemli bir rol oynamaktadırlar (Zhou et al., 2022). Ayrıca, mikroalglerin antioksidan özellikleri ve bağıışıklık sistemini destekleyici etkileri bilimsel araştırmalarla da doğrulanmış olup bu özellikleri sayesinde vücudu zararlı serbest radikallere karşı koruma ve bağıışıklık sistemini güçlendirme potansiyeli taşımaktadırlar (Moura et al., 2022). Mikroalglerin kullanımı yalnızca gıda takviyeleri ile sınırlı değildir; aynı zamanda gıdaların besin içeriğini zenginleştirmek amacıyla da çalışmalar yürütülmektedir (Spolaore et al., 2006). Mikroalg yardımıyla yetiştirilen salata ve marulun, besin değerlerinin arttığı da belirlenmiştir (Acun & Bozokalfa, 2020). Mikroalglerin, makarna, atıştırmalık gıdalar, şekerleme ve sakızlar, içecekler gibi çeşitli gıda ürünlerine eklenerek besin değerinin artırılması, böylece daha sağlıklı ürünlerin üretilmesi güncel bir araştırma konusu olarak karşımıza çıkmaktadır (Bhatnagar et al., 2024).

Mikroalglerin besinsel bileşimi, türlerine ve yetiştirme tekniklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Zenginleştirilmek istenen özelliğe göre, uygun mikroalg türü belirlenmektedir. Bazı mikroalgler proteince daha zenginken, bazılarının esansiyel yağ içeriği yüksek olmaktadır (Patel et al., 2022). Özellikle *Chlorella vulgaris* (*C. vulgaris*) gibi mikroalgler, yüksek protein içeriğiyle (%45-60) dikkat çekmektedirler. Ayrıca, hücre duvarlarının lifçe zengin oluşu ve içerdikleri esansiyel yağ asitleri, vitaminler, mineraller ve antioksidan özellikteki biyoaktif bileşenler nedeniyle, fonksiyonel ürünler için iyi bir hammadde kaynağı olarak kabul edilmektedirler (Tokuşoglu & Unal, 2003; Uzuner & Haznedar, 2020). Artan nüfus oranları ve yeni hastalıkların ortaya çıkması nedeniyle, toplumun genel beslenme ihtiyaçları

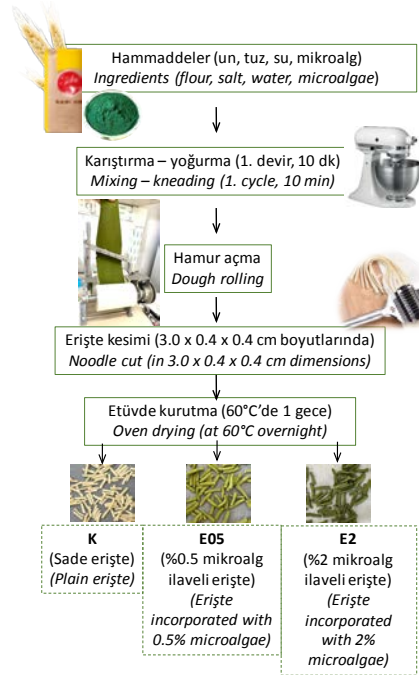
sürekli olarak artmakta olup mikroalgler bu ihtiyaçları karşılamak için sürdürülebilir bir alternatif olarak kullanılabilirler. Mikroalgler ile fonksiyonel gıdaların üretimi alanında çalışmaların artması ise, mikroalg üretim kapasitelerinin artırılmasına yön verebilecektir (Udayan et al., 2021). Geleneksel ürünlere alternatif oluşturması açısından farklı besin kaynaklarıyla yeni gıda formülasyonlarının geliştirilmesi ve zenginleştirilmesi için bilimsel çalışmalara ihtiyaç vardır. Bu kapsamda literatüre katkı sunması amaçlanan bu çalışmanın amacı, *C. vulgaris* mikroalginin erişte üretim formülasyonunda kullanılması potansiyelinin değerlendirilmesi ve ürünlerdeki kalite özellikleri üzerine olan etkisinin araştırılmasıdır. Bu kapsamda, *C. vulgaris* eklenmiş erişte üretimi yapılmış ve ürünün fizikokimyasal, tekstürel, duyu ve biyoaktif bileşenler açısından özellikleri incelenmiştir.

MATERYAL ve YÖNTEM

Materyalin Temini ve Erişte Üretimi

Kontrol grubu (K) olarak üretilen erişte için tek bir parti üretiminde 250 g Söke sarı un (%13.3 protein, %66.2 karbonhidrat, %1.3 yağ) ve 2.5 g sofr tuzu kullanılmıştır. 150 g içme suyu yavaşça eklenerek karışım, bir hamur yoğurma makinesi (Kitchenaid, USA) kullanılarak 1. devirde 10 dakika boyunca yoğurulmuştur. Oluşturulan hamur, makinede açıldıktan sonra erişte kesme aparatı kullanılarak homojen bir şekilde, 3.0 x 0.4 x 0.4 cm boyutlarında kesilmiştir. Kesilen erişte parçaları, bir etüvde 60°C sıcaklıkta 1 gece boyunca kurumaya bırakılmıştır.

C. vulgaris ile zenginleştirilmiş erişte üretimi için, toz formda %6.5 yağ, %58.3 protein ve %6.2 nem içeriğine sahip *C. vulgaris* mikroalgi kullanılmıştır. Erişte formülasyonundaki un miktarı azaltılarak, eksilen miktar kadar toz formda mikroalg eklenmiştir. Literatürde mikroalg ilaveli makarna örnekleri baz alınarak erişte hamurunda mikroalg ağırlıkça %0.5 ve %2 olacak şekilde iki farklı oranda kullanılmıştır (Oliveira et al., 2023; Ribeiro et al., 2022; El-Baz et al., 2017). %0.5 mikroalg içeren erişte "E05" olarak, %2 mikroalg içeren erişte ise "E2" olarak kodlanmıştır. Ürünlerin üretim akış şemaları Şekil 1'de gösterilmiştir. Üretimler iki tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Erişte örneklerinin üretim akış şeması.

Figure 1. Production flowchart of erişte samples.

Genel Bileşim Analizleri

Örneklerin nem, protein (N x 5.70) ve kül analizleri sırasıyla AACC 44-01, 46-12 ve 08-01 referans yöntemlerine göre yapılmıştır (AACC, 2000).

Pişme Testleri

Pişme testleri, AACC 66-50 (2000)'de tanımlanan yöntemlerden yararlanılarak aşağıdaki analizler ile gerçekleştirilmiştir:

Pişme süresi

Erişte pişirme deneyinde, 1:10 (a: a, erişte: su) oranında kaynar suya eklenerek pişirilmiştir. Pişirme süreci sırasında, ilk 10 dakikanın sonunda her 2.5 dakikada bir, iki cam levha arasında sıkıştırılarak, mat görüntünün varlığı gözlenmiştir. Ürünün tamamı şeffaflaşınca kadar pişirmeye devam edilmiştir. Ürünün kaynar suya atıldığı andan sonra tamamen şeffaf görüntüsünün ilk olarak elde edildiği süre, pişme süresi olarak belirlenmiştir. Pişme süresi belirlendikten sonra, diğer pişirme testleri bu süre referans alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu testler arasında pişirme suyuna geçen madde miktarının belirlenmesi, su absorpsiyonu ve hacim artışı gibi özellikler değerlendirilmiştir.

Pişirme suyuna geçen madde miktarı

Pişirme suyuna geçen nişasta, suda çözünen protein ve diğer bileşiklerin toplam miktarının düşük olması, makarna benzeri gıdalarda bir kalite göstergesidir. Analiz için 250 mL kaynamış suya 25 g erişte eklenerek pişirme süreci başlatılmıştır. Önceden belirlenen pişme süresi sonunda, elde edilen eriştelere 90 mL saf soğuk suyla yıkanarak süzgeçten geçirilmiştir. Süzme işlemi sonucunda elde edilen tüm süzüntü iyice karıştırılmış ve daha sonra etüvde 150°C sıcaklıkta kurutulmuştur. Kurutma işlemi sonrasında elde edilen madde miktarı, başlangıçtaki kuru erişte ağırlığına oranlanarak suya geçen madde miktarı yüzdesi olarak belirlenmiştir.

Su absorpsiyonu

Pişirme sonrası elde edilen süzölmüş eriştenin ağırlığı (G_2) ile başlangıçta tartılan kuru eriştenin ağırlığından (G_1) yararlanılarak [1] numaralı eşitlik yardımıyla su absorpsiyon oranı hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Su absorpsiyon oranı} = 100 \times (G_2 - G_1) / G_1 \quad [1]$$

Hacim artışı

Pişirme suyuna geçen madde miktarı analizindeki yöntemle pişirilen makarnanın pişme öncesi hacmi (V_1) ile pişme sonrası hacminin (V_2) farkı ölçülü silindir yardımıyla belirlenmiştir. Hacim artışı Eşitlik [2]'ye göre hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Hacim artışı} = 100 \times (V_2 - V_1) / V_1 \quad [2]$$

Renk Tayini

Pişme testlerinde uygulanan yöntemle pişirilen erişte örneklerinin renkleri, Lovibond RT300 tintometre (İngiltere) yardımıyla L^* (parlaklık (luminance), 0 (siyah), 100 (beyaz)), a^* (yeşil (-), kırmızı (+)), b^* (mavi (-), sarı (+)) cinsinden analiz edilmiştir. Ölçümler en az 6 tekrarlı olacak şekilde yapılmış olup örneklerin mikroalg içermeyen kontrol ürününe (sade erişteye) göre renk farklılıkları ΔE^* cinsinden Eşitlik [3] ile hesaplanmıştır.

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_1^* - L_0^*)^2 + (a_1^* - a_0^*)^2 + (b_1^* - b_0^*)^2} \quad [3]$$

Burada, ΔE^* , Lab* renk uzayında yer alan iki renk arasındaki uzaklığı; L_1^* , a_1^* ve b_1^* örneğe ait parametreleri; L_0^* , a_0^* ve b_0^* kontrole ait parametreleri ifade etmektedir.

Sertlik Analizi

Sertlik analizi, pişirme testlerinde belirtilen yöntemle pişirilmiş örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Brookfield CT3 (ABD) cihazı kullanılmış olup, bu cihaz 4.5 kg yük hücreli bir yapıya sahiptir. Kullanılan parametreler şu şekildedir: Tetikleyici kuvvet: 1.0 g; Uzaklık: 3.0 mm; Baskı testi prob hızı: 1 mm/s; Prob tipi: 12.7 mm çapında silindirik TA5 asetat probudur. Tüm testler 25°C sıcaklıkta gerçekleştirilmiş ve ürünlerin sertlik değerleri Texture Pro CT V1.6 yazılımı ile "g" cinsinden ölçülmüştür. Sertlik analizleri için en az 6 farklı noktadan yapılan ölçümlerin ortalaması alınmıştır.

Duyusal Analiz

Erişte örnekleri, pişirme testlerinde belirtilen yöntemle göre pişirildikten sonra 25°C'de servis edilmek üzere duyusal analize tabi tutulmuştur. Analizde 1 ile 9 arasında bir hedonik skala kullanılmış ve panelistlerden 1: hiç beğenmedim, 9: çok beğendim skalasında değerlendirme yapmaları istenmiştir (Mpalanzi et al., 2023). Panelistler, Sakarya Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü çalışanları arasından seçilmiş, yarı eğitilmiş 8 kişilik bir ekipten oluşturulmuştur. Toksikolojik etkileri henüz bilinmediği için panelistlere tadım yaptırılmamıştır. Panelistler, örnekleri koku, renk, elde sıkıştırma ile belirlenen sertlik ve görsel beğeni kriterleri açısından değerlendirerek puanlama yapmışlardır.

Antioksidan Aktivite Tayini

Örneklerin antioksidan aktivitesi, DPPH radikalini giderme yüzdesi üzerinden hesaplanmıştır. Bu amaçla Wojdylo et al.(2007)'nin önerdiği yöntem modifiye edilerek ekstraktlar hazırlanmıştır. Ekstrakt çözeltisi hazırlamak için 1.5 gram kuru erişte, bir test tüpüne tartılmış ve üzerine 20 mL %75'lik metanol eklenerek 5 dakika boyunca vortekslenmiştir. Tüpler, 20°C'de 30 dk boyunca ultrasonik su banyosunda tutulduktan sonra 10 dakika boyunca 9000 rpm'de santrifüj edilmiştir. Sıvı kısım, analizde kullanılmak üzere ekstrakt olarak ayrılmıştır. Analiz için Karabulut et al. (2022)'nin önerdiği yöntem modifiye edilmiştir. Hazırlanan ekstraktan 200 µL alınıp, deney tüplerine aktarılmıştır. Taze olarak %100 metanolde 0.2 mM olarak hazırlanan DPPH (Sigma-Aldrich, Almanya) çözeltisinden 3 mL ekstrakt tüplerine eklenmiş ve vortekslenildikten sonra oda sıcaklığında karanlık bir ortamda 30 dk bekletilmiştir. Bu sürenin ardından UV-VIS spektrofotometrede (Shimadzu UV-1240, Japan) 517 nm'de absorbans (A) ölçülmüştür. Örnekten elde edilen ekstrakt yerine %75'lik metanol çözeltisi kullanılarak aynı adımlar izlenmiş ve "kör" absorbansı da ölçülmüştür. Eşitlik [4] yardımıyla örneklerin antioksidan aktiviteleri hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Antioksidan aktivite} = 100 \times [A_0 - A_1 / A_0] \quad [4]$$

Burada; A_0 , kontrol absorbansını ve A_1 , örnek absorbansını ifade etmektedir.

Toplam Fenolik Madde Miktarı

Toplam fenolik madde içeriği, Karabulut et al.(2022)'nin tarafından kullanılan Folin-Ciocalteu kolorimetrik yöntemde modifikasyonlar yapılarak ölçülmüştür. Bu amaçla, antioksidan tayininde kullanılan taze ekstraktan 100 µL alınmış ve buna 0.2 mL Folin-Ciocalteu reaktifi (Sigma-Aldrich, Almanya) ve 2 mL saf su eklenmiştir. Karışım oda sıcaklığında 3 dakika boyunca inkübasyona bırakılmıştır. Daha sonra, 1 mL %20'lik sodyum karbonat (Merck, Almanya) eklenmiş ve karışım oda sıcaklığında 1 saat boyunca karanlık bir ortamda bekletilmiştir. Süre sonunda, 765 nm dalga boyunda absorbans ölçümü yapılmıştır. Sonuçlar, gallik asit standardı kullanılarak hesaplanmış (0-1000 ppm, $y=0.0096x-0.0327$, $R^2= 0.992$) ve "mg gallik asit eşdeğeri (GAE) / 100 g kuru madde" cinsinden ifade edilmiştir.

İstatistiksel Analiz

Örneklerin analiz sonuçlarının değerlendirilmesi ve ortalamalar arasındaki farkın belirlenmesi için Minitab 16.0 yazılımı kullanılmış ve %95 güven aralığında Tukey'in HSD testi uygulanarak tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile gerçekleştirilmiştir.

ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Fizikokimyasal Özellikler

Eriştelerin nem, protein ve kül içerikleri ile renk ve sertlik değerleri Çizelge 1’de verilmiştir. Erişte örneklerinin kuru maddede protein oranı, artan mikroalg ilavesiyle artmıştır. %2 oranında mikroalg ilavesi, kontrol eriştelerine göre protein oranında önemli bir artışa yol açmıştır. Kontrol erişte örneğindeki %14.10 protein oranı, %2 mikroalg ilavesiyle yaklaşık %13'lük bir artışla %15.90 protein oranına sahip mikroalg içeren erişte örneklerine ulaşmıştır. Bazarnova et al.(2021) %5 oranında toz formda *Chlorella sorokiniana* (*C. sorokiniana*) ilavesiyle ürettikleri gıda ürünlerinin protein miktarında %18'lik bir artış olduğunu rapor etmişlerdir. Lemes et al.(2012) ise %10.00 oranında *Spirulina platensis* (*S. platensis*) mikroalg ilavesinin son üründe %14.50'lik protein artışı sağladığını belirtmişlerdir.

Çizelge 1. Erişte örneklerinin fizikokimyasal özellikleri

Table 1. The physicochemical properties of erişte samples

Ürün kodu (Product code)	% Nem (Moisture, %)	Protein (%, KM'de) (Protein (% DM))	Kül (%, KM'de) (Ash in% DM))	ΔE^* (Renk farkı) (ΔE^* , Color difference)	Sertlik (g) (Hardness (g))
K	4.09 ± 0.18 a	14.10 ± 0.02 b	1.40 ± 0.15 a		521.81 ± 9.7 b
E05	3.69 ± 0.30 a	14.60 ± 0.27 ab	1.53 ± 0.32 a	16.0 ± 0.8 b	607.23 ± 6.2 ab
E2	3.99 ± 0.62 a	15.90 ± 0.57 a	1.84 ± 0.15 a	30.2 ± 0.9 a	696.32 ± 0.9 a

K: Kontrol, E05: %0.5 mikroalg içeren erişte, E2: %2 mikroalg içeren erişte

K: Control, E05: 0.5% microalgae containing erişte, E2: 2% microalgae containing erişte

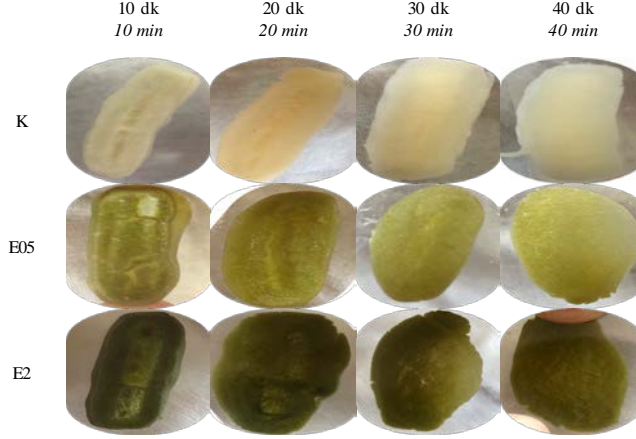
Erişte örneklerinin kül miktarı %1.40-1.84 arasında ölçülmüş olup örnekler arasında önemli bir farklılık gözlenmemiştir ($P > 0.05$). Mikroalg ilaveli makarnalarla yapılan başka bir çalışmada ise, pişmemiş sade makarnada %1.2 olan kül miktarının, %2 toz mikroalg ilavesiyle önemli ölçüde artarak %1.8'e yükseldiği, fakat pişirme işlemi sırasında minerallerin suya geçmesi ile mikroalgli makarnalarda kül oranında önemli kayıplar gözlemlendiği belirlenmiştir (Fradique et al., 2010). Erişte örneklerinin rutubet analizi sonuçları %3.69 ile %4.09 arasında değişmektedir ve bu sonuçlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir ($P > 0.05$).

Renk değerlerinin kontrol örneğinden farklılığı, ΔE^* birimi cinsinden incelendiğinde, mikroalg ilavesiyle önemli ölçüde renk değişimleri gözlenmiştir. $\Delta E^* > 3$ olan ürünler, bireyler tarafından renk farkı olarak algılanabilmektedir (Bodart et al., 2008). Çalışmamız kapsamında, %0.5 mikroalg ilavesiyle başlayan renk farkı (ΔE^*) değeri 16.0 iken, %2 mikroalg ilavesiyle 30.2'ye yükselmiştir. Bir çalışmada, mikroalg ilavesinin sentetik renklendiriciler kullanmadan ürünlere hoş bir renk kazandırabildiği belirtilmiştir. Ancak %5'in üzerindeki kullanımların ürünlere balık kokusuna benzer bir aroma kattığı için kullanım oranının duyu analizlerle belirlenmesi gerektiği vurgulanmıştır (Bazarnova et al., 2021). Uribe-Wandurraga et al. (2021)'nin *S. platensis* ve *C. vulgaris* ilavesiyle ürettikleri hamurlarda %0.5 mikroalg ilavesiyle ΔE^* değerleri 19 olup, kullanım oranı %2'ye çıkarıldığında mikroalg ilavesinin ürüne kazandırdığı renkte farklılık gözlenmiştir; *S. platensis* ile üretilen hamurun ΔE^* değeri 38, *C. vulgaris* ile üretilen hamurun ise 35 olarak rapor edilmiştir.

Erişte üretiminde un miktarı azaltılarak eklenen mikroalgın konsantrasyonu arttıkça, ürünlerin sertlik değerinde önemli bir artış gözlenmiştir. Testin uygulandığı koşullarda, sade erişte için sertlik değeri 521.8 g olarak ölçülmüşken, %0.5 ve %2 mikroalg ilaveli ürünlerde sırasıyla 607.2 ve 696.3 g sertlik ölçülmüştür. *C. vulgaris* ilavesiyle zenginleştirilen bisküvi hamurlarında da sertlik değerinde artış gözlenmiş ve bu artışın, mikroalgın zengin protein içeriğinden kaynaklanabileceği daha önceki çalışmalarda bildirilmiştir (Batista et al., 2017; Letras et al., 2022).

Pişme Testleri

Kaynamış suya atılan eriştelerin, iki cam levha arasında her 2.5 dakikada bir yapılan pişme kontrolüne göre pişme süreleri 40 dakika olarak belirlenmiştir. Ürünlerin pişme testinde elde edilen 10., 20., 30. ve 40. dakikaya ait görüntüleri Şekil 2'de sunulmuştur. Bu teste göre, mikroalg ilavesi ürünlerin pişme sürelerini etkilememiştir. Daha önce bir makarna çalışmasında, %0.5 oranında *Spirulina maxima* ilavesinin makarnanın pişme süresini değiştirmedığı, ancak kullanım miktarı %2'ye çıktığında pişme süresinin 5 dakikadan 6 dakikaya çıktığı bildirilmiştir. Aynı çalışmada, %0.5 ve %2 oranında *C. vulgaris* ilavesiyle pişme sürelerinin sırasıyla 6 ve 7 dakika olarak belirlendiği ifade edilmiştir (Fradique et al., 2010).



Şekil 2. Erişte örneklerinin farklı pişme sürelerinde (10, 20, 30 ve 40 dakika) iki cam levha arasındaki görüntüleri.

Figure 2. Images of erişte samples between two glass plates at different cooking times (10, 20, 30, and 40 min).

K: Kontrol, E05: %0.5 mikroalg, E2: %2 mikroalg içeren erişte

K: Control, E05: 0.5% microalgae, E2: 2% microalgae containing erişte

Erişte örneklerinin pişme suyuna geçen madde miktarları ile su absorpsiyonu ve hacim artışı değerleri Çizelge 2'de sunulmuştur. Suyu geçen madde miktarı, makarna ve benzeri ürünlerde pişirme sırasında suya geçen katı madde kaybını göstermektedir. Ürünün kabul edilebilir sınırlarda olabilmesi için, bu kayıpların 100 gram ürün için 8 gramdan az olması beklenmektedir (Foschia et al., 2015). Çalışmamız kapsamında üretilen tüm erişte örneklerinin suya geçen madde miktarlarının %8'in altında olduğu saptanmıştır. Pişirme suyuna geçen madde miktarları açısından incelendiğinde, kontrol (K) ürünü %3.5 kayıp ile erişte örnekleri içerisinde en yüksek kalitedeki ürün olarak öne çıkmıştır. Bunu sırasıyla %2 ve %0.5 mikroalg ilavesi ile elde edilen ürünler takip etmiştir. Makarna hamurunun *C. sorokiniana* ile zenginleştirildiği bir çalışmada, pişme suyuna geçen madde miktarının %2.5 mikroalg ilavesiyle %5.0'den 5.2'ye çıktığı, %5.0 oranında mikroalg ilavesiyle ise %5.0 olarak kaldığı bildirilmiştir (Bazarnova et al., 2021). *C. vulgaris* ilaveli makarna ile yapılan bir çalışmada, pişirme sonucunda gözlenen kayıp, %0.5 ve %2 mikroalg ilaveli ürünlerde kontrol ürünü ile benzer düzeydedir ve %3.1 ile %3.5 arasında ölçülmüştür (Fradique et al., 2010).

Su absorpsiyonu değeri, ürünlerin pişme sonrası kütle artışını gösteren bir değerdir ve "pişme verimi" olarak da adlandırılabilir. Çalışmamız kapsamında erişte örneklerinin su absorpsiyonu %147.2-149.1 aralığında belirlenmiştir. Mikroalg ilavesinin ürünün su absorpsiyon değerini önemli ölçüde etkilemediği gözlenmiştir ($P > 0.05$). Benzer şekilde literatürde yer alan *C. vulgaris* ilaveli makarnalar üzerine yapılan bir çalışmada, 5-6 dakika süren pişirme işlemi sonucunda, *C. vulgaris* eklenmesiyle su absorpsiyon değeri %69'dan %92-94 aralığına yükselmiştir; mikroalg konsantrasyonunun %0.5'ten %2'ye çıkışı bu değişim üzerinde etkili olmamıştır (Fradique et al., 2010).

Hacim artışı, ürünlerin su absorpsiyonu neticesinde hacminde meydana gelen değişikliği ifade eden bir değerlendirme ölçütüdür. Mikroalg ilavesinin, erişte örneklerinde hacim artış değerine önemli bir etkisi bulunmamıştır. Ürünler, uygulanan pişirme düzeninde %14.9 ile %15.8 arasında hacim artışına uğramıştır.

Çizelge 2. Erişte örneklerinin pişme özellikleri

Table 2. The cooking properties of erişte samples

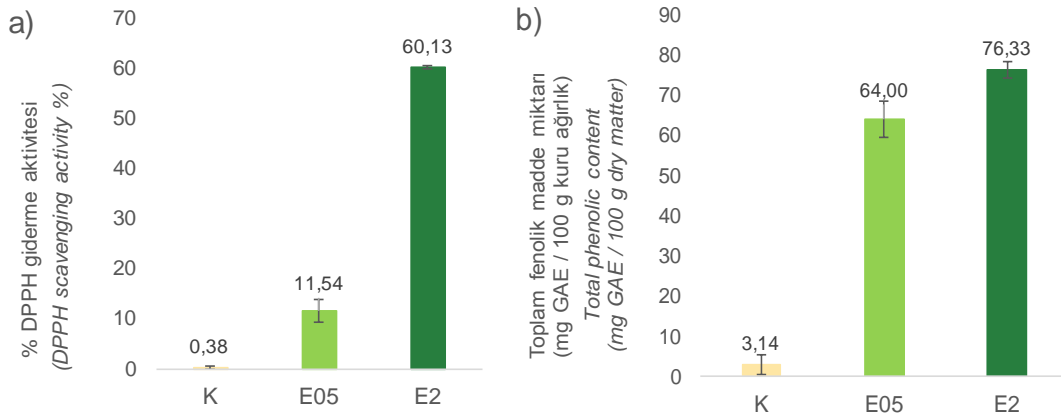
Ürün kodu (Product code)	Suya geçen madde miktarı (%) (Cooking loss (%))	Su absorpsiyonu (%) (Weight increase (%))	Hacim artışı (%) (Volume increase (%))
K	3.5 ± 0.3 c	149.1 ± 0.7 a	15.0 ± 1.4 a
E05	5.1 ± 0.3 a	147.2 ± 2.8 a	14.9 ± 1.4 a
E2	4.3 ± 0.4 b	147.2 ± 2.8 a	15.8 ± 1.4 a

K: Kontrol, E05: %0.5 mikroalg içeren erişte, E2: %2 mikroalg içeren erişte

K: Control, E05: 0.5% microalgae containing erişte, E2: 2% microalgae containing erişte

Biyoaktif Özellikler

Yapılan bir çalışmada, mikroalglerin toplam fenolik madde miktarının yetiştirme tekniğindeki değişimlerden büyük oranda etkilendiği bildirilmiş ve analiz edilen *Chlorella* ekstraktının 1 gramında 13.3 mg GAE değerinde toplam fenolik madde tespit edilmiştir (Ferdous et al., 2023). Çalışmamız kapsamında, biyoaktif bileşenlerin zenginleştirilmesi amacıyla üretilen mikroalg ilaveli eriştelerin antioksidan aktiviteleri ile toplam fenolik madde miktarları Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 3. Erişte örneklerinin antioksidan aktiviteleri (a) ve toplam fenolik madde miktarları (b).

Figure 3. Antioxidant activities (a) and total phenolic contents (b) of erişte samples.

K: Kontrol, E05: %0.5 mikroalg içeren erişte, E2: %2 mikroalg içeren erişte

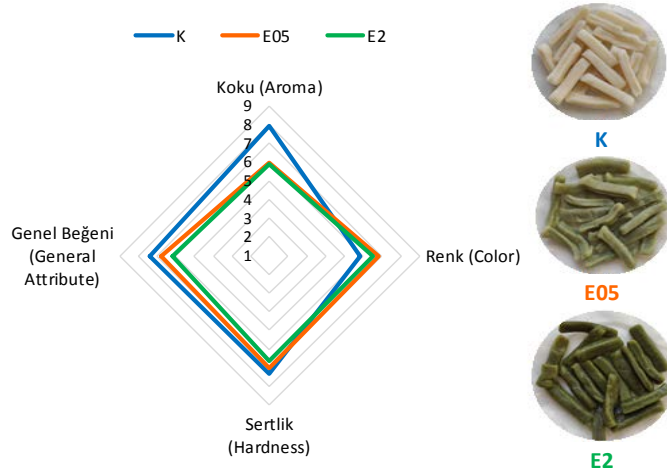
K: Control, E05: 0.5% microalgae containing erişte, E2: 2% microalgae containing erişte

Mikroalg konsantrasyonundaki artış, ürünlerin biyoaktif madde miktarlarını önemli ölçüde artırmıştır. Sade erişte DPPH radikalini giderme oranı cinsinden antioksidan aktivite tespit edilememişken, %0.5 mikroalg ilavesi antioksidan aktiviteyi %12'ye çıkarmıştır. %2 mikroalg ilavesi ise %60 oranında antioksidan aktivite sağlamıştır. Toplam fenolik madde miktarları, %0.5 ve %2 mikroalg ilavesi sonucunda sırasıyla 64.0 ve 76.3 mg GAE / 100 g (kuru ağırlık) değerlerine ulaşmıştır. Benzer şekilde yapılan bir çalışmada, 100 gramında 24 mg GAE bulunan ekmekek hamurunun toplam fenolik madde miktarının, un ikamesi olarak %5, %10 ve %20 oranlarında *Spirulina platensis* (*S. platensis*) eklenmesi sonucu sırasıyla 55 mg GAE, 76 mg GAE ve 105 mg GAE'ye yükseldiği bildirilmiştir (De Marco

et al., 2014). Yine makarna hamuruna *S. platensis* eklenen bir çalışmada, antioksidan aktivitenin %2 mikroalg ilavesiyle önemli ölçüde arttığı bildirilmiştir (Zouari et al., 2011).

Duyusal Özellikler

Erişte örneklerinin duyu analizi sonuçları Şekil 4'te verilmiştir. Uygulanan pişirme yöntemi sonrası sunulan ürünler koku, renk, sertlik ve genel beğeni açısından değerlendirilmiştir. Pişmiş erişte örnekleri, belirtilen özelliklerinde "görsel beğeni" açısından derecelendirilmiştir. Buna göre %0.5 ve %2 mikroalg ilavesinin erişte örneklerinde kontrol (sade) ürüne göre koku, renk, sertlik ve genel beğeni açısından önemli bir etkisi bulunmamıştır. Duyusal analizde mikroalg ilaveli ürünler, kontrol ürününe benzer beğeni sonuçları göstermiş olup koku özelliklerinde kontrole göre daha düşük puan almaları geliştirilen ürünlerde koku açısından çözümler geliştirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.



Şekil 4. Erişte örneklerinin duyu değerlendirmesi.

Figure 4. Sensory evaluation of erişte samples.

K: Kontrol, E05: %0.5 mikroalg içeren erişte, E2: %2 mikroalg içeren erişte

K: Control, E05: 0.5% microalgae containing erişte, E2: 2% microalgae containing erişte

Literatürde bisküvi hamuruna %2 oranında *C. vulgaris* eklenen bir çalışmada üretilen ürünlerin duyu olarak kabul edilebilir özelliklerde olduğu, ancak %6 oranında eklenen mikroalgin beğenilmediği ortaya konulmuştur (Batista et al., 2017). Bisküvi hamuruna %5 oranında *C. vulgaris* ve *S. platensis* eklenen bir çalışmada ise, üretilen ürünlerin her ikisinin de duyu özellikleri açısından kontrolden daha düşük puanlar aldığı, ancak ticari ürün haline getirilmek istendiğinde *S. platensis* kullanımının mümkün olmadığı, *C. vulgaris* kullanımının ise uygun bulunduğu bildirilmiştir (Letras et al., 2022).

SONUÇ

Bu çalışmada *C. vulgaris* mikroalginin erişte üretimine ilavesinin ürün kalitesi ve besin bileşimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Mikroalg ilavesinin, eriştenin antioksidan aktivitesini ve toplam fenolik madde miktarının artırdığı ve ürünün besinsel açıdan zenginleştiği gözlemlenmiştir. Özellikle, *C. vulgaris* ilavesiyle erişte, proteince daha zengin hale gelmiştir. Bununla birlikte, mikroalg ilavesinin erişte analitik ölçümlerine göre sertliği artırdığı, ancak duyu özellikleri üzerinde herhangi bir olumsuz etki yaratmadığı tespit edilmiştir. Mikroalg ilavesiyle erişte pişirme sırasında suya geçen madde miktarını ve su absorpsiyonunu artırmış; ancak, ürünün pişme verimini etkilememiştir. Bu çalışmanın bulguları erişte üretiminde formülasyona %0.5 ve %2 oranında mikroalg ilavesinin erişte besinsel değerini artırdığını ve birçok kalite parametresinin korunduğunu göstermektedir. Gelecekteki çalışmalarda, mikrobiyolojik ve

toksikolojik incelemelerin yapılması ve ürünün ticarileşmesi için gerekli adımların atılması gerekmektedir. Bu çalışma, mikroalglerin gıda endüstrisinde kullanımına bir uygulama örneği ortaya koyarak, gelecekte daha sağlıklı ve besleyici ürünlerin geliştirilmesine katkı sunmaktadır.

Veri Kullanılabilirliği

Veriler makul talep üzerine sağlanabilmektedir.

Yazar Katkıları*

Çalışmanın konsepti ve tasarımı: HS, GK, SY; örnek toplama: HS, GK, SY; verilerin analizi ve yorumlanması: HS, GK, SY; istatistiksel analiz: HS, GK, SY; görselleştirme: HS, GK, SY; makalenin yazımı: HS, GK, SY.

Çıkar Çatışması

Bu çalışmada yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Etik Beyan

Bu araştırma için etik kurula ihtiyaç olmadığını beyan ederiz.

Makale Açıklaması

Bu makale Konu Editörü Prof. Dr. Cem KARAGÖZLÜ tarafından düzenlenmiştir.

KAYNAKLAR

- AACC, 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists (10th Ed.). St. Paul, MN.
- Acun, M. & M.K. Bozokalfa, 2020. Mikroalg uygulamalarının salata (*Lactuca sativa* L. var. *crispa*) ve marul çeşitlerinin (*Lactuca sativa* L. var. *longifolia*) verim ve kalite özelliklerine etkisi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 57 (4): 555-562.
- Batista, A.P., A. Niccolai, P. Fradinho, S. Fragoso, I. Bursic, L. Rodolfi, N. Biondi, M.R. Tredici, I. Sousa & A. Raymundo, 2017. Microalgae biomass as an alternative ingredient in cookies: Sensory, physical and chemical properties, antioxidant activity and in vitro digestibility. Algal Research, 26: 161-171.
- Bazarnova, J., L. Nilova, E. Trukhina, M. Bernavskaya, Y. Smyatskaya & T. Aktar, 2021. Use of microalgae biomass for fortification of food products from grain. Foods, 10 (12): 3018.
- Bilgiçli, N., M.K. Demir, N. Ertuş & E.N. Herken, 2011. Effects of gluten and emulsifier on some properties of erişte prepared with legume flours. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 62 (1): 63-70.
- Bodart, M., R. de Peñaranda, A. Deneyer & G. Flamant, 2008. Photometry and colorimetry characterisation of materials in daylighting evaluation tools. Building and Environment, 43 (12): 2046-2058.
- Brennan, L. & P. Owende, 2010. Biofuels from microalgae-A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14 (2): 557-577.
- De Marco, E.R., M.E. Steffolani, C.S. Martínez & A.E. León, 2014. Effects of *Spirulina* biomass on the technological and nutritional quality of bread wheat pasta. LWT-Food Science and Technology, 58 (1): 102-108.
- El-Baz, F. K., S. M. Abdo, & A. M. Hussein, 2017. Microalgae *Dunaliella salina* for use as food supplement to improve pasta quality. International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research, 46 (2): 45-51.
- ETB, 2022. Erzurum Ticaret Borsası, Erzurum Eriştisi Coğrafi İşaret Tescil Belgesi, No. 1258.
- Ferdous, U.T., A. Nurdin, S. Ismail & Z.N. Balia Yusof, 2023. Evaluation of the antioxidant and cytotoxic activities of crude extracts from marine *Chlorella* sp. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 47: 102551.
- Foschia, M., D. Peressini, A. Sensidoni, M.A. Brennan & C.S. Brennan, 2015. How combinations of dietary fibres can affect physicochemical characteristics of pasta. LWT-Food Science and Technology, 61 (1): 41-46.
- Fradique, M., A.P. Batista, M.C. Nunes, L. Gouveia, N.M. Bandarra & A. Raymundo, 2010. Incorporation of *Chlorella vulgaris* and *Spirulina maxima* biomass in pasta products. Part 1: Preparation and evaluation. Journal of the Science of Food and Agriculture, 90 (10): 1656-1664.

- Göksel Saraç, M., 2021. Bitkisel ve hayvansal proteinlerin eriştenin tekstürel ve duyuşal özelliklerine etkisi. Cukurova University, Agriculture Faculty, 36 (1): 23-36.
- Karabulut, G., H. Feng & O. Yemiş, 2022. Physicochemical and antioxidant properties of industrial hemp seed protein isolate treated by high-intensity ultrasound. Plant Foods for Human Nutrition, 77 (4): 577-583.
- Lemes, A.C., K.P. Takeuchi, J.C.M. de Carvalho & E.D.G. Danesi, 2012. Fresh pasta production enriched with *Spirulina platensis* biomass. Brazilian Archives of Biology and Technology, 55 (5): 741-750.
- Letras, P., S. Oliveira,, J. Varela, M.C. Nunes & A. Raymundo, 2022. 3D printed gluten-free cereal snack with incorporation of *Spirulina (Arthrospira platensis)* and/or *Chlorella vulgaris*. Algal Research, 68: 102863.
- Levent, H., 2019. Performance of einkorn (*Triticum monococcum* L.) flour in the manufacture of traditional Turkish noodle. Gıda, 44 (5): 932-942.
- Moura, M.A.F.E., B.A. Martins, G.P. Oliveira & J.A. Takahashi, 2022. Alternative protein sources of plant, algal, fungal and insect origins for dietary diversification in search of nutrition and health. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 63 (31): 10691-10708.
- Mpalanzi, V., N. W. Alex & D. Chaula, 2023. Textural, cooking quality and sensory acceptability of noodles incorporated with Moringa Leaf and sardine powders. European Journal of Nutrition and Food Safety, 15 (10): 1-20.
- Oliveira, B. C., M. Machado, S. Machado, A. S. Costa, S. Bessada, R. C. Alves, & M. B. P. Oliveira, 2023. Algae incorporation and nutritional improvement: The case of a whole-wheat pasta. Foods, 12 (16): 3039.
- Patel, A., E. Krikigianni, U. Rova, P. Christakopoulos & L. Matsakas, 2022. Bioprocessing of volatile fatty acids by oleaginous freshwater microalgae and their potential for biofuel and protein production. Chemical Engineering Journal, 438: 135529 (1-17).
- Ribeiro, A. R., T. Madeira, G. Botelho, D. Martins, R. M. Ferreira, A. M. Silva & R. Costa, 2022. Brown algae *Fucus vesiculosus* in pasta: Effects on textural quality, cooking properties, and sensorial traits. Foods, 11 (11): 1561.
- Spolaore, P., C. Joannis-Cassan, E. Duran & A. Isambert, 2006. Commercial applications of microalgae. Journal of Bioscience and Bioengineering, 101 (2): 87-96.
- Tokuşoglu, O. & M.K. Unal, 2003. Biomass nutrient profiles of three microalgae: *Spirulina platensis*, *Chlorella vulgaris*, and *Isochrysis galbana*. Journal of Food Science, 68 (4): 1144-1148.
- Udayan, A., A. K. Pandey, P. Sharma, N. Sreekumar & S. Kumar, 2021. Emerging industrial applications of microalgae: challenges and future perspectives. Systems Microbiology and Biomanufacturing, 1: 411-431.
- Uribe-Wandurraga, Z.N., M. Igual, J. Reino-Moyón, P. García-Segovia & J. Martínez-Monzó, 2021. Effect of microalgae (*Arthrospira platensis* and *Chlorella vulgaris*) addition on 3D printed cookies. Food Biophysics, 16 (1): 27-39.
- Uzuner, S. & A. Haznedar, 2020. Fonksiyonel gıda için sağlıklı takviye: Mikroalgler. Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 5 (2): 212-226.
- Wojdyło, A., J. Oszmiański & R. Czemerys, 2007. Antioxidant activity and phenolic compounds in 32 selected herbs. Food Chemistry, 105 (3): 940-949.
- Yılmaz Tuncel, N., E. Kaya & M. Karaman, 2017. Rice bran substituted Turkish noodles (erişte): textural, sensorial, and nutritional properties. Cereal Chemistry Journal, 94 (5): 903-908.
- Zhou, Y., L. Liu, M. Li & C. Hu, 2022. Algal biomass valorisation to high-value chemicals and bioproducts: Recent advances, opportunities and challenges. Bioresource Technology, 344 (B): 126371.
- Zouari, N., M. Abid, N. Fakhfakh, M.A. Ayadi, L. Zorgui, M. Ayadi & H. Attia, 2011. Blue-green algae (*Arthrospira platensis*) as an ingredient in pasta: free radical scavenging activity, sensory and cooking characteristics evaluation. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 62 (8): 811-813.

Araştırma Makalesi (Research Article)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2024, 61 (3):357-366
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1462784>

Figen ÇUKUR¹ 

Tayfun ÇUKUR^{2*} 

¹ Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Milas Meslek Yüksekokulu, Yönetim ve Organizasyon Bölümü, 48200, Milas, Muğla, Türkiye

² Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Milas Meslek Yüksekokulu, Pazarlama ve Reklamcılık Bölümü, 48200, Milas, Muğla, Türkiye

* Sorumlu yazar (Corresponding author):

tayfun.cukur@hotmail.com

Anahtar sözcükler: Avrupa Birliği, tarımsal yapı, TOPSIS

Keywords: European Union, agricultural structure, TOPSIS

Bazı Avrupa Birliği ülkelerinin tarımsal yapılarının TOPSIS yöntemi ile incelenmesi

Examination of agricultural structures of some European Union countries using TOPSIS method

* Bu makale ISPEC 14. Uluslararası Tarım, Hayvancılık ve Kırsal Kalkınma Kongresinde (22-24 Mart 2024, İzmir) sözlü bildiri olarak sunulmuş, bildiri özeti kongre kitabında yayınlanmıştır.

Received (Alınış): 01.04.2024

Accepted (Kabul Tarihi): 03.06.2024

ÖZ

Amaç: Bu çalışmada Bazı Avrupa Birliği ülkelerinin (Bulgaristan, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Almanya, Macaristan, Yunanistan, Portekiz, Polonya, İtalya, Romanya, İspanya, Litvanya) tarımsal yapılarının incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan değişkenler, tarım alanı, ekilebilir arazi, toplam istihdam içinde tarımın payı, tarım orman ve balıkçılıktan elde edilen katma değer ve ekilebilir arazi başına gübre tüketimidir.

Materyal ve Yöntem: Araştırmanın verileri 2021 yılına aittir. Avrupa Birliği ülkelerinin tarımsal yapılarının karşılaştırılmasında TOPSIS yöntemi kullanılmıştır.

Araştırma Bulguları: Araştırmada ele alınan kriterler itibarıyla tarımsal potansiyeli en yüksek Avrupa Birliği ülkeleri Fransa, İspanya ve Almanya iken en düşük ülkeler, Litvanya, Danimarka ve Finlandiya olarak bulunmuştur.

Sonuç: Araştırmada Avrupa Birliği ülkelerinin tarımsal yapıları arasında önemli farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Ülkeler arasındaki söz konusu farklılıkların giderilmesi için gerekli tedbirler alınmalıdır.

ABSTRACT

Objective: The objective of this study was to examine the agricultural structures of some European Union countries (Bulgaria, Denmark, Finland, France, Germany, Hungary, Greece, Portugal, Poland, Italy, Romania, Spain, Lithuania). The variables used in the study are agricultural area, arable land, the share of agriculture in total employment, added value from agriculture, forestry and fisheries, and fertilizer consumption per arable land.

Material and Methods: The data of the research belongs to 2021. TOPSIS method was used to compare the agricultural structures of European Union countries.

Findings: According to the criteria considered in the study, the European Union countries with the highest agricultural potential were France, Spain and Germany, while the countries with the lowest agricultural potential were Lithuania, Denmark and Finland.

Conclusion: In the research, it was determined that there are significant differences between the agricultural structures of the European Union countries. Necessary measures should be taken to eliminate these differences between countries.

GİRİŞ

Nüfus artışı ve gelişen gıda alışkanlıklarının karşılanması için dünya gıda üretiminin 2050 yılına kadar iki katına çıkması gerekmektedir. Gıda üretimi, iklim değişikliğinin biyolojik çeşitlilik, toprak ve su kalitesi üzerindeki etkileri ve küresel pazarın talepleri ile karşı karşıyadır. Avrupa Birliği (AB) tarım politikası, çiftçilerin bu zorluklarla yüzleşmesine ve insanların değişen tutum ve beklentilerine yanıt vermesine yardımcı olmak için son yıllarda önemli ölçüde değişmiştir. AB tarım politikası, gıda kalitesi, izlenebilirlik, ticaret ve AB tarım ürünlerinin tanıtımı da dahil olmak üzere çok çeşitli alanları kapsamaktadır (Anonymous, 2024a).

Tarım tüm dünyada olduğu gibi Avrupa Birliği ülkeleri için de en önemli sektörler arasında yer almaktadır. Avrupa Birliği 27 ülkenin oluşturduğu büyük bir yapı olduğundan birliği oluşturan ülkelerin tarımsal yapı ve tarım potansiyelleri arasında oldukça büyük farklılıklar bulunmaktadır. Örneğin 2021 yılı itibarıyla tarım alanları Lüksemburg'da 132.811 hektar iken Romanya'da ise 13.079.000 hektardır. Yine 2021 yılında işlenebilir alan Malta'da 7.800 hektar iken Polonya'da 11.078.760 hektardır (FAO, 2024). Toplam istihdam içinde tarımda istihdam edilen nüfus incelendiğinde, 2022 yılı itibarıyla Avrupa Birliği ülkeleri arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Belçika, Almanya, Lüksemburg, Malta gibi ülkelerde tarımsal istihdam düzeyi %1 iken, bu oran Yunanistan'da %11, Romanya'da %18 düzeyindedir (WDI, 2024).

AB'de tarım sektörü 2022 yılında 220,7 milyar Avro'luk brüt katma değer yaratmıştır. Tarım, 2022 yılında AB'nin Gayri Safi Yurtiçi Hasıla'sına %1,4 katkıda bulunmuştur. AB'nin tarım sektörünün toplam üretim değerinin yarısından fazlasını (%57,3'ü) Fransa (97,1 milyar Avro), Almanya (76,2 milyar Avro), İtalya (71,5 milyar Avro) ve İspanya (63,0 milyar Avro) karşılamaktadır. AB'de diğer önemli ülkeler Polonya (39,5 milyar Avro), Hollanda (36,1 milyar Avro) ve Romanya'dır (22,2 milyar Avro). 2022 yılında AB'nin tarımsal üretiminin toplam değerinin dörtte üçü (%75,5'i) bu yedi ülkeden gelmiştir (Anonymous, 2024b).

Literatür incelendiğinde, Avrupa Birliği ülkelerinde tarım sektörünün farklı yönlerini ele alarak TOPSIS yöntemi yardımıyla inceleyen ve karşılaştıran çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Ancak AB ülkelerinin tarımsal yapılarının ve potansiyellerinin TOPSIS yöntemiyle incelendiği bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu durum çalışmanın önemini vurgulamaktadır.

Nowak & Kaminska (2016) tarafından Avrupa Birliği ülkelerinin tarımsal rekabet gücünün araştırıldığı çalışmada, tarımda rekabet gücünün en yüksek olduğu ülkenin Hollanda, bu konuda en az rekabetçi olan ülkenin ise Slovenya olduğu saptanmıştır. Dace & Blumberga (2016) tarafından yapılan çalışmada, AB ülkeleri tarımsal sera gazı emisyonlarına göre karşılaştırılmıştır. Çalışmada her AB üyesi ülkenin emisyon yoğunlukları açısından çok farklı performans sergiledikleri, emisyon yoğunluğu sonuçlarının AB ülkelerinin çoğunda endişe verici bir artış eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. Namiotko et al. (2022) tarafından yapılan çalışmada, seçilmiş Avrupa Birliği ülkelerinin tarım-çevre durumu değerlendirilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre en iyi tarım-çevre durumu Finlandiya, İrlanda ve İsveç'te bulunmuştur. Balcerzak & Pietrzak (2016) tarafından yapılan çalışmada, Avrupa Birliği ülkelerinin sürdürülebilir kalkınma düzeyleri incelenmiştir. Araştırmada Avrupa Birliği'ne yeni üye olan ülkelerin çoğunun sürdürülebilir kalkınma kavramının uygulanmasında önemli ilerleme kaydettiği belirlenmiştir. Sredzinska et al. (2018) tarafından yapılan çalışmada, AB ülkeleri arasında en yüksek vergi oranlarının Danimarka, Hollanda, İtalya, Fransa, Slovakya ve Belçika çiftliklerine uygulandığı belirlenmiştir. Galnaityte et al. (2024) tarafından yapılan çalışmada, seçilmiş AB ülkelerinde domuz yetiştiriciliği çeşitli kriterler itibarıyla incelenmiştir. Araştırmada domuz eti üretiminde kendi kendine yeterlilikte başarılı ülkeler Danimarka, Belçika, Hollanda ve İspanya olarak belirlenmiştir.

Araştırmanın amacı, bazı Avrupa Birliği ülkelerinin (Bulgaristan, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Almanya, Macaristan, Yunanistan, Portekiz, Polonya, İtalya, Romanya, İspanya, Litvanya) 2021 yılı itibarıyla tarımsal yapılarını inceleyerek tarımsal potansiyellerini ortaya koymaktır. Çalışmada kullanılan değişkenler, tarım alanı, ekilebilir arazi, toplam istihdam içinde tarımın payı, tarım orman ve balıkçılıktan elde edilen katma değer ve ekilebilir arazi başına gübre tüketimidir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Araştırmada ikincil veri kaynaklarından yararlanılmıştır. Araştırmada Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Organizasyonu (FAO) ile Dünya Bankası (WDI) istatistik veri tabanından yararlanılmıştır. Ayrıca konu ile ilgili daha önce yayınlanmış araştırmalardan faydalanılmıştır. Araştırmada kullanılan değişkenler 2021 yılına aittir. Araştırma kapsamına Avrupa Birliği ülkelerinden Bulgaristan, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Almanya, Macaristan, Yunanistan, Portekiz, Polonya, İtalya, Romanya, İspanya ve Litvanya alınmıştır.

Yöntem

Araştırmada ülkelerin tarımsal yapıları karşılaştırılırken TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. TOPSIS (Technique For Order Performance By Similarity To İdeal Solution-İdeal Çözümüne Benzerliğe Göre Tercih Sırası Tekniği) çok kriterli karar verme tekniğidir. TOPSIS'in temel fikri oldukça basittir. TOPSIS, uzlaşık çözümün en kısa mesafeye sahip olduğu yer değiştirmiş ideal nokta kavramından kaynaklanmaktadır. Alternatiflerin sıralamasının (pozitif) ideal çözüme en kısa mesafeye ve negatif ideal çözüme en uzak mesafeye dayalı olacağı varsayılmaktadır. TOPSIS'in dört avantajı bulunmaktadır: (i) insan tercihinin mantığını temsil eden sağlam bir mantık (ii) hem en iyi hem de en kötü alternatifleri aynı anda açıklayan skaler bir değer (iii) basit bir hesaplama süreci ve (iv) tüm alternatiflerin niteliklere ilişkin performans ölçümleri görselleştirilebilir (Shih et al., 2007).

TOPSIS'i uygulamak için, bir dizi kriter üzerinden bir dizi alternatif için karar matrisinin spesifikasyonuna ve ayrıca bu kriterler için göreceli ağırlıklar setinin spesifikasyonuna ihtiyaç bulunmaktadır (Kuo, 2017). TOPSIS yönteminin uygulama adımları şu şekilde sıralanabilir:

1.Aşama: Karar matrisinin oluşturulması

Yöntemde öncelikle karar matrisi (Eşitlik 1) oluşturulur. Matris alternatifler ve kriterleri içermektedir. Sütunlar kriterleri gösterirken, satırlarda alternatifler yer almaktadır.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad \text{Eşitlik 1}$$

2.Aşama: Karar matrisinin normalizasyonu

Bu aşamada, karar matrisi normalize edilir. Normalizasyon için kullanılan formül Eşitlik 2'de gösterilmiştir. Elde edilen R_{ij} matrisi ise Eşitlik 3'de sunulmuştur.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad i=1,2 \dots m \quad J=1,2 \dots n \quad \text{Eşitlik 2}$$

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad \text{Eşitlik 3}$$

3.Aşama: Normalleştirilen karar matrisinin ağırlıklandırılması

Bu aşamada R_{ij} matrisi ile kriterlerin önem derecelerini gösteren ağırlıklar çarpılarak V_{ij} matrisi elde edilir (Eşitlik 4).

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad \text{Eşitlik 4}$$

4.Aşama: İdeal (A+) ve negatif ideal (A-) çözümlerin belirlenmesi

Bu aşamada ideal ve negatif ideal değerler elde edilir. İdeal değerlere ulaşmak için Eşitlik 5'teki formül, negatif ideal değerlere ulaşmak için Eşitlik 6'daki formül kullanılmaktadır.

$$A^* = \{(\max_i v_{ij} \mid j \in J), (\min_i v_{ij} \mid j \in j')\} \quad \text{Eşitlik 5}$$

$$A^- = \{(\min_i v_{ij} \mid j \in J), (\max_i v_{ij} \mid j \in j')\} \quad \text{Eşitlik 6}$$

5.Aşama: Ayrım ölçülerinin hesaplanması

Bu aşamada ideal ayrım ölçüsü ve negatif ideal ayrım ölçüsü değerleri hesaplanmaktadır. İdeal ayrım ölçüsü Eşitlik 7, negatif ideal ayrım ölçüsü ise Eşitlik 8'deki formül yardımıyla elde edilmektedir.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad \text{Eşitlik 7}$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad \text{Eşitlik 8}$$

6.Aşama: İdeal çözüme göre göreceli yakınlığın hesaplanması

İdeal çözüme göreceli yakınlık hesaplanırken bir önceki aşamada elde edilen ideal ayrım ölçüsü ve negatif ideal ayrım ölçüsü değerlerinden yararlanılmakta olup, hesaplamada kullanılan formül Eşitlik 9'daki gibidir.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad \text{Eşitlik 9}$$

ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Karar matrisinin oluşturulması

Araştırmada öncelikle karar matrisi oluşturulmuştur. Karar matrisinde satırlar alternatifleri (Bulgaristan, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Almanya, Macaristan, Yunanistan, Portekiz, Polonya, İtalya, Romanya, İspanya, Litvanya), sütunlar ise kriterleri (tarım alanı, ekilebilir arazi, toplam istihdam içinde tarımın payı, tarım orman ve balıkçılıktan elde edilen katma değer, ekilebilir arazi başına gübre tüketimi ve tarım ürünleri ihracat değeri) göstermektedir (Çizelge 1). Ülkelerin tarımsal yapı ve potansiyelleri karşılaştırılırken literatürde yaygın olarak kullanılan değişkenler kriter olarak belirlenmiştir (Güray et al., 2005; Coca et al., 2023; Sevim & Bali, 2008).

Çizelge 1. AB ülkelerinin tarımsal yapı ile ilgili değişkenleri**Table 1.** Variables regarding the agricultural structure of EU countries

Ülkeler	X1	X2	X3	X4	X5	X6
Bulgaristan	50465,972	3500475,5	6,291864964	3058207965	131,0598889	6775402,34
Danimarka	26180	2357000	2,039455175	2730670394	132,6216292	17844768,14
Finlandiya	22680	2243000	4,10821147	5969179352	98,08426215	2306430,11
Fransa	285537,54	17956560	2,49128585	33841429090	153,3236321	76508136,26
Almanya	165910	11658000	1,250585991	24883411737	130,141019	87088692,24
Macaristan	50436,886	4139704,4	4,392735908	4809923657	161,8105872	11275683,87
Yunanistan	58671,88	2131930,4	11,3577248	7250747735	149,9650786	8761005,56
Portekiz	39622,955	965233,7	5,187633935	4335572514	175,8001819	8571268,35
Polonya	144994,6	11078760	8,398853715	10973338639	156,0643971	40467726,48
İtalya	124030,309	7192812	4,05017291	34626676852	133,2188871	59372860,78
Romanya	130790	8588000	18,4678901	9641847273	107,4158128	11171839,54
İspanya	262284,464	11550053,4	4,059541275	35184872788	161,0516312	63538518,19
Litvanya	29378	2279000	5,312985989	1449782742	139,6845108	6120413,84

X1: Tarım alanı (km²), X2: Ekilebilir arazi (hektar), X3: Toplam istihdam içinde tarımın payı (%), X4: Tarım orman ve balıkçılıktan elde edilen katma değer (2015 sabit fiyatlarıyla, \$), X5: Ekilebilir arazi başına gübre tüketimi (kg), X6: Tarım ürünleri ihracat değeri (1000\$) (WDI, 2023; FAO, 2023).

Karar matrisinin normalizasyonu

Çizelge 2'de yer alan normalize edilmiş karar matrisi, Çizelge 1'de yer alan karar matrisine dayanılarak oluşturulmuştur. Bunun için öncelikle sütunlarda bulunan her değer için kareleri alınmış ve kareleri alınmış değerler toplanmıştır. Daha sonra elde edilen değerlerin karekökü alınmıştır. Son aşamada ise Çizelge 1'de yer alan her bir değer, karekök alındıktan sonra elde edilen değere bölünerek karar matrisi normalize edilmiştir.

Çizelge 2. Karar matrisinin normalizasyonu**Table 2.** Normalization of decision matrix

Ülkeler	X1	X2	X3	X4	X5	X6
Bulgaristan	0,1023	0,1173	0,2351	0,0453	0,2553	0,0442
Danimarka	0,0531	0,0790	0,0762	0,0404	0,2584	0,1165
Finlandiya	0,0460	0,0752	0,1535	0,0884	0,1911	0,0151
Fransa	0,5786	0,6017	0,0931	0,5009	0,2987	0,4996
Almanya	0,3362	0,3906	0,0467	0,3683	0,2535	0,5687
Macaristan	0,1022	0,1387	0,1641	0,0712	0,3152	0,0736
Yunanistan	0,1189	0,0714	0,4244	0,1073	0,2921	0,0572
Portekiz	0,0803	0,0323	0,1938	0,0642	0,3425	0,0560
Polonya	0,2938	0,3712	0,3138	0,1624	0,3040	0,2643
İtalya	0,2513	0,2410	0,1513	0,5126	0,2595	0,3877
Romanya	0,2650	0,2878	0,6900	0,1427	0,2093	0,0730
İspanya	0,5315	0,3870	0,1517	0,5208	0,3137	0,4149
Litvanya	0,0595	0,0764	0,1985	0,0215	0,2721	0,0400

Normalleştirilen karar matrisinin ağırlıklandırılması

Araştırmada modele dahil edilen her bir değişkenin önemi birbirine eşit olarak kabul edildiğinden ağırlıklar eşit ($1/6=0,166667$) olarak alınmıştır. Bu değer ile Çizelge 2'de yer alan her bir değer çarpılarak ağırlıklandırılmış normalize matris elde edilmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Ağırlıklandırılmış normalize matris

Table 3. Weighted normalized matrix

Ülkeler	X1	X2	X3	X4	X5	X6
Bulgaristan	0,0170	0,0195	0,0392	0,0075	0,0426	0,0074
Danimarka	0,0088	0,0132	0,0127	0,0067	0,0431	0,0194
Finlandiya	0,0077	0,0125	0,0256	0,0147	0,0318	0,0025
Fransa	0,0964	0,1003	0,0155	0,0835	0,0498	0,0833
Almanya	0,0560	0,0651	0,0078	0,0614	0,0423	0,0948
Macaristan	0,0170	0,0231	0,0274	0,0119	0,0525	0,0123
Yunanistan	0,0198	0,0119	0,0707	0,0179	0,0487	0,0095
Portekiz	0,0134	0,0054	0,0323	0,0107	0,0571	0,0093
Polonya	0,0490	0,0619	0,0523	0,0271	0,0507	0,0440
İtalya	0,0419	0,0402	0,0252	0,0854	0,0433	0,0646
Romanya	0,0442	0,0480	0,1150	0,0238	0,0349	0,0122
İspanya	0,0886	0,0645	0,0253	0,0868	0,0523	0,0692
Litvanya	0,0099	0,0127	0,0331	0,0036	0,0454	0,0067

İdeal (A+) ve negatif ideal (A-) çözümlerin belirlenmesi

İdeal ve negatif ideal çözüm değerlerinin elde edilebilmesi için sütunlarda yer alan değerlerin en büyük ve en küçükleri belirlenmiştir. Sütunlardaki en büyük değerler ideal, en küçük değerler ise negatif ideal çözüm değeri olarak kabul edilmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 4. İdeal (A*) ve negatif ideal çözüm (A-) değerleri

Table 4. İdeal (A*) ve negative ideal solution (A-) values

Ülkeler	X1	X2	X3	X4	X5	X6
Bulgaristan	0,0170	0,0195	0,0392	0,0075	0,0426	0,0074
Danimarka	0,0088	0,0132	0,0127	0,0067	0,0431	0,0194
Finlandiya	0,0077	0,0125	0,0256	0,0147	0,0318	0,0025
Fransa	0,0964	0,1003	0,0155	0,0835	0,0498	0,0833
Almanya	0,0560	0,0651	0,0078	0,0614	0,0423	0,0948
Macaristan	0,0170	0,0231	0,0274	0,0119	0,0525	0,0123
Yunanistan	0,0198	0,0119	0,0707	0,0179	0,0487	0,0095
Portekiz	0,0134	0,0054	0,0323	0,0107	0,0571	0,0093
Polonya	0,0490	0,0619	0,0523	0,0271	0,0507	0,0440
İtalya	0,0419	0,0402	0,0252	0,0854	0,0433	0,0646
Romanya	0,0442	0,0480	0,1150	0,0238	0,0349	0,0122
İspanya	0,0886	0,0645	0,0253	0,0868	0,0523	0,0692
Litvanya	0,0099	0,0127	0,0331	0,0036	0,0454	0,0067
İdeal çözüm değerleri (Vj*)	0,0964	0,1003	0,1150	0,0868	0,0571	0,0948
Negatif ideal çözüm değerleri (Vj)	0,0077	0,0054	0,0078	0,0036	0,0318	0,0025

İdeal noktalara olan uzaklık değerlerine ulaşabilmek için ağırlıklandırılmış normalize matrisinde bulunan her bir değerden ideal çözüm değerleri çıkarılarak elde edilen sonucun karesi alınmıştır (Çizelge 5).

Çizelge 5. İdeal noktalara olan uzaklık değerleri**Table 5.** Distance values to ideal points

Ülkeler	X1	X2	X3	X4	X5	X6
Bulgaristan	0,0063	0,0065	0,0057	0,0063	0,0002	0,0076
Danimarka	0,0077	0,0076	0,0105	0,0064	0,0002	0,0057
Finlandiya	0,0079	0,0077	0,0080	0,0052	0,0006	0,0085
Fransa	0,0000	0,0000	0,0099	0,0000	0,0001	0,0001
Almanya	0,0016	0,0012	0,0115	0,0006	0,0002	0,0000
Macaristan	0,0063	0,0060	0,0077	0,0056	0,0000	0,0068
Yunanistan	0,0059	0,0078	0,0020	0,0047	0,0001	0,0073
Portekiz	0,0069	0,0090	0,0068	0,0058	0,0000	0,0073
Polonya	0,0023	0,0015	0,0039	0,0036	0,0000	0,0026
İtalya	0,0030	0,0036	0,0081	0,0000	0,0002	0,0009
Romanya	0,0027	0,0027	0,0000	0,0040	0,0005	0,0068
İspanya	0,0001	0,0013	0,0081	0,0000	0,0000	0,0007
Litvanya	0,0075	0,0077	0,0067	0,0069	0,0001	0,0078

Benzer şekilde ideal olmayan noktalara olan uzaklık değerlerine ulaşabilmek için ağırlıklandırılmış normalize matrisinde bulunan her bir değerden negatif ideal çözüm değerleri çıkarılarak elde edilen sonucun karesi alınmıştır (Çizelge 6).

Çizelge 6. İdeal olmayan noktalara olan uzaklık değerleri**Table 6.** Distance values to non-ideal points

Ülkeler	X1	X2	X3	X4	X5	X6
Bulgaristan	0,0001	0,0002	0,0010	0,0000	0,0001	0,0000
Danimarka	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0001	0,0003
Finlandiya	0,0000	0,0001	0,0003	0,0001	0,0000	0,0000
Fransa	0,0079	0,0090	0,0001	0,0064	0,0003	0,0065
Almanya	0,0023	0,0036	0,0000	0,0033	0,0001	0,0085
Macaristan	0,0001	0,0003	0,0004	0,0001	0,0004	0,0001
Yunanistan	0,0001	0,0000	0,0040	0,0002	0,0003	0,0000
Portekiz	0,0000	0,0000	0,0006	0,0001	0,0006	0,0000
Polonya	0,0017	0,0032	0,0020	0,0006	0,0004	0,0017
İtalya	0,0012	0,0012	0,0003	0,0067	0,0001	0,0039
Romanya	0,0013	0,0018	0,0115	0,0004	0,0000	0,0001
İspanya	0,0065	0,0035	0,0003	0,0069	0,0004	0,0044
Litvanya	0,0000	0,0001	0,0006	0,0000	0,0002	0,0000

Ayırım ölçülerinin hesaplanması

S_i^* (ideal ayırım ölçüsü) değerine ulaşabilmek için Çizelge 5'te yer alan satırlar toplanmıştır. Elde edilen sonucun karekökü alınmıştır. S_i^- (negatif ideal ayırım ölçüsü) değerine ulaşabilmek içinse Çizelge 6'da yer alan satırlar toplanarak elde edilen sonucun karekökü alınmıştır.

S_i^* (ideal ayırım ölçüsü) değerine ulaşabilmek için Çizelge 5'te yer alan satırlar toplanmıştır. Elde edilen sonucun karekökü alınmıştır. S_i^- (negatif ideal ayırım ölçüsü) değerine ulaşabilmek içinse Çizelge 6'da yer alan satırlar toplanarak elde edilen sonucun karekökü alınmıştır. İdeal çözüme göreli yakınlığın (C^*) hesaplanabilmesi için her bir satır için S_i^* ve S_i^- değerleri toplanmış ve S_i^- değeri S_i^* ve S_i^- toplamına bölünmüştür (Çizelge 7).

Çizelge 7. İdeal çözüme görelî yakınlığın hesaplanması**Table 7.** Calculation of relative closeness to ideal solution

Ülkeler	S_i^*	S_i^-
Bulgaristan	0,1808	0,0378
Danimarka	0,1950	0,0225
Finlandiya	0,1947	0,0222
Fransa	0,1005	0,1737
Almanya	0,1234	0,1337
Macaristan	0,1800	0,0371
Yunanistan	0,1665	0,0685
Portekiz	0,1893	0,0370
Polonya	0,1177	0,0975
İtalya	0,1255	0,1156
Romanya	0,1295	0,1231
İspanya	0,1004	0,1488
Litvanya	0,1916	0,0300

İdeal çözüme göre görelî yakınlığın hesaplanması

İdeal çözüme görelî yakınlığın (C^*) hesaplanabilmesi için her bir satır için S_i^* ve S_i^- değerleri toplanmış ve S_i^- değeri S_i^* ve S_i^- toplamına bölünmüştür (Çizelge 8). Araştırmada C^* değeri en yüksek ülke yani ideal çözüme en yakın ülke 0,6336 ile Fransa olarak belirlenmiştir. Bu sonuca göre Fransa ele alınan kriterler itibariyle tarımsal potansiyeli en yüksek ülke olarak saptanmıştır (Çizelge 8). Nowak & Kaminska (2016) tarafından Avrupa Birliği ülkelerinin tarımsal rekabet gücünün araştırıldığı araştırmada, Hollanda, Fransa, Almanya, Danimarka ve Belçika'nın tarımsal rekabet gücü en yüksek ülkeler olarak belirlenmiştir. Mateusz et al. (2018) tarafından yapılan araştırmada, Fransa'nın AB ülkeleri içinde sürdürülebilir kalkınma kriterleri açısından en başarılı ülkeler arasında yer aldığı belirlenmiştir. Ziolo & Luty (2018) tarafından yapılan araştırmada, Fransa'nın Almanya'dan sonra AB ülkeleri arasında en büyük ikinci organik pazar olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 8. AB ülkelerinin seçilmiş kriterler itibariyle sıralanması**Table 8.** Ranking of EU countries according to selected criteria

Sıra	Ülkeler	C^*
1	Fransa	0,6336
2	İspanya	0,5972
3	Almanya	0,5200
4	Romanya	0,4874
5	İtalya	0,4795
6	Polonya	0,4532
7	Yunanistan	0,2914
8	Bulgaristan	0,1728
9	Macaristan	0,1710
10	Portekiz	0,1634
11	Litvanya	0,1353
12	Danimarka	0,1036
13	Finlandiya	0,1022

SONUÇ

Tarım sektörü tüm dünyada olduğu gibi Avrupa Birliği ülkeleri için de önemli bir yere sahiptir. Zira tüm ülkeler için tarım vazgeçilmez bir sektör konumundadır. Tarım kırsal toplumların en önemli geçim

kaynağıdır. Tarım güvenli ve kaliteli gıda tedariki sağlamaktadır. Tarım önemli bir istihdam kaynağı konumundadır. Ayrıca tarımdan ölkeler önemli ölçüde döviz getirisi elde etmektedir. Tarımın kırsal peyzajın ve biyolojik çeşitliliğin korunmasında önemli bir rolü vardır. Ayrıca tarımsal ürünler, tarıma dayalı sanayinin hammaddesini oluşturmaktadır (Çınar et al., 2015).

Bu araştırmada bazı Avrupa Birliği ölkelerinin tarımsal yapıları TOPSIS yöntemiyle incelenmiştir. Araştırma kapsamında 13 Avrupa Birliği ölkesi 6 kriter itibariyle değerlendirilmiştir. Araştırmada ele alınan kriterler itibariyle tarımsal potansiyeli en yüksek ölkeler Fransa, İspanya ve Almanya iken en düşük ölkeler, Litvanya, Danimarka ve Finlandiya olarak bulunmuştur. Araştırmada Avrupa Birliği ölkelerinin tarımsal yapıları arasında önemli farklılıkların olduğu belirlenmiştir. Ölkeler arasındaki söz konusu farklılıkların giderilmesi için gerekli tedbirler alınmalıdır.

Veri Kullanılabilirliği

Veriler makul talep üzerine sağlanabilmektedir.

Yazar Katkısı

Çalışmanın konsepti ve tasarımı: FÇ, TÇ; verilerin analizi ve yorumlanması: FÇ; istatistiksel analiz: TÇ; görselleştirme: FÇ; makalenin yazımı: TÇ.

Çıkar Çatışması

Bu çalışmada yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Etik Beyan

Bu araştırma için etik kurula ihtiyaç olmadığını beyan ederiz.

Makale Açıklaması

Bu makale Konu Editörü Dr. H. Ece SALALI tarafından düzenlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Anonymous, 2024a. Agriculture. (Web page: https://european-union.europa.eu/priorities-and-actions/actions-topic/agriculture_en) (Date accessed: April 2024).
- Anonymous, 2024b. Performance of the agricultural sector. (Web page: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Performance_of_the_agricultural_sector#Value_of_agricultural_output) (Date accessed: April 2024).
- Balcerzak, A.P. & M.B. Pietrzak, 2016. Application of TOPSIS Method for Analysis of Sustainable Development in European Union Countries. Institute of Economic Research Working Papers, No. 22/2016, Institute of Economic Research, Poland.
- Çınar, G., A. Hushmat & F. Işın, 2015. Relationship between exports of processed agricultural products and real exchange rate shocks: the case of Turkey. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 52 (1): 85-92.
- Coca, O., D. Creanga, S. Viziteu, I.S. Bruma & G. Stefan, 2023. Analysis of the determinants of agriculture performance at the European Union level. Agriculture, 13 (616):1-23. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030616>
- Dace, E. & D. Blumberga, 2016. How do 28 European Union Member States perform in agricultural greenhouse gas emissions? It depends on what we look at: Application of the multi-criteria analysis. Ecological Indicators, 71: 352-358. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.07.016>
- FAO, 2024. FAO Statistics (FAOSTAT). (Web page: <https://www.fao.org/faostat/en/#data>) (Date accessed: April 2024).
- Galnaityte, A., I. Krisciukaitiene, V. Namiotko & V. Dabkiene, 2024. Assessment of the Lithuanian pig farming sector via prospective farm size. Agriculture, 14 (32): 1-19. <https://doi.org/10.3390/agriculture14010032>
- Güryay, E., O.V. Şafaklı & B. Tüzel, 2005. The comparative analysis of agricultural sector productivity in North Cyprus and the European Union. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 18 (1): 51-61.

- Kuo, T., 2017. A modified TOPSIS with a different ranking index. *European Journal of Operational Research*, 260:152-160. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2016.11.052>
- Mateusz, P., M. Danuta, L. Malgorzata, B. Mariusz & N. Kesra, 2018. TOPSIS and VIKOR methods in study of sustainable development in the EU countries. *Procedia Computer Science* 126: 1683-1692. [10.1016/j.procs.2018.08.109](https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.109)
- Namiotko, V., A. Galnaityte, I. Krisciukaitiene & T. Balezentis, 2022. Assessment of agri- environmental situation in selected EU countries: a multi- criteria decision-making approach for sustainable agricultural development. *Environmental Science and Pollution Research*, 29: 25556-25567. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17655-4>
- Nowak, A. & A. Kaminska, 2016. Agricultural competitiveness: The case of the European Union countries. *Agricultural Economics*, 62 (11): 507-516. DOI: 10.17221/133/2015-AGRICECON
- Sevim, C. & Ö. Bali, 2008. Avrupa Birliği üyesi ve aday ülkelerin tarımsal etkinliklerinin karşılaştırılması. *Verimlilik Dergisi*, 3: 21-39.
- Shih, H.S., H.J. Shyur & E.S. Lee, 2007. An extension of TOPSIS for group decision making. *Mathematical and Computer Modelling*, 45: 801-813. DOI:10.1016/j.mcm.2006.03.023
- Sredzinska, J., A. Kozera & A. Standar, 2018. Level and evolution of farm taxation in the European Union in 2007-2015. *Proceedings of the 2018 International Scientific Conference Economic Sciences for Agribusiness and Rural Economy*, No 1, Warsaw, 7-8 June 2018, pp. 327-334.
- WDI, 2024. The World Bank World Development Indicators. (Web page: <https://databank.worldbank.org/reports.aspx?source=World-Development-Indicators>) (Date accessed: April 2024).
- Ziolo, M. & L. Luty, 2018. Gradation of European Union member states in terms of organic farming development in the light of a multivariate comparative analysis. *International Scientific Days*, 258-271. <https://doi.org/10.15414/isd2018.s1.20>



Araştırma Makalesi
(Research Article)

Ege niv. Ziraat Fak. Derg., 2024, 61 (3):367-381
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1445604>

Hakan ALTUNLU¹

Yonca SURGUN ACAR²

Filiz ALTAN³

Atilla Levent TUNA^{4*}

Betül BRN⁴

¹ Muğla S.K. niversitesi, Ortaca MYO, Ortaca, Muğla

² Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Çanakkale

³ Muğla S.K. niversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji Bölümü, Menteēe, Muğla

⁴ Muğla S.K. niversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Menteēe, Muğla

* Sorumlu yazar (Corresponding author):
tuna@mu.edu.tr

Anahtar sözcükler: Brassinosteroid, *Gossypium hirsutum*, pamuk, tuzluluk

Keywords: Brassinosteroid, *Gossypium hirsutum*, cotton, salinity

Tuz stresi altındaki pamukta (*Gossypium hirsutum* L.) 24-epibrassinolid'in etkinliği

Efficacy of 24-epibrassinolide in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) under salt stress

Received (Alınış): 01.03.2024

Accepted (Kabul Tarihi):04.06.2024

Z

Amaç: Üç pamuk (*Gossypium hirsutum* L.) çeşidinde (Nazilli 84-S, Carmen, Beyaz Altın-119) NaCl stresine karşı 24-epibrassinolid (EBR) uygulamasının etkisi araştırılmıştır.

Materyal ve Yöntem: Pamuk tohumları 3 μ M EBR czeltisi ile 24 saat muamele edildikten sonra saksılara ekilmiş ve 75, 150 mM NaCl içeren Hoagland besin czeltisiyle sulanmıştır. Çiçeklenme dönemi başlangıcında hasat edilen bitkilerde kuru ağırlık, membran geçirgenliği, stoma yoğunluğu, nispi su kapsamı, antioksidatif enzim aktiviteleri, fotosentetik pigment ve DNA kapsamaları belirlenmiştir.

Araştırma Bulguları: EBR uygulaması bitkilerin kuru ağırlıkları, nisbi su kapsamı ve stoma yoğunluğuında meydana gelen düşüşü azaltmıştır. Her üç çeşitte de tuz konsantrasyonunun artması ile membran geçirgenliği artmış, ancak bu artış EBR uygulaması ile azalmıştır. NaCl uygulaması ile antioksidatif enzim aktiviteleri (SOD ve POD) nemli oranda artmıştır. NaCl uygulaması stoma-kilit hücre sayısı, pigment kapsamalarını ve DNA içeriğini azaltmış ancak bu azalma EBR uygulaması ile hafifletilmiştir.

Sonuç: Bu sonuçlar, pamuk çeşitlerinde tuza bağlı olarak antioksidatif enzim aktivitesinde artışı göstermekte ve EBR'nin tuz stresi altındaki pamuk bitkisinde su potansiyeli ve membran bütünlüğünün korunmasına yardımcı olarak stresi hafifletici etkilerini ortaya koymaktadır.

ABSTRACT

Objective: The effect of 24-epibrassinolide (EBR) application against NaCl stress in three cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cultivars (Nazilli 84-S, Carmen, White Gold 119) was investigated.

Material and Methods: After the seeds were treated with 3 μ M EBR solution for 24 h, they were sowed in pots and watered with Hoagland nutrient solution containing 75 and 150 mM NaCl. Plant dry weight, membrane permeability, stomatal density, relative water content, photosynthetic pigment contents, antioxidative enzyme activities, and DNA content were determined in the plants harvested at the beginning of the flowering period.

Results: EBR treatments reduced the decrease in dry weights, relative water content, and stomatal density of plants. Membrane permeability increased with increasing salt concentration in all three varieties, but this increase decreased with the EBR treatment. Antioxidative enzyme activities (SOD and POD) increased significantly with NaCl application. NaCl application reduced stomata-guard cell number, photosynthetic pigment and DNA content, but this decrease was improved by EBR treatment.

Conclusion: These results show a salt-dependent increase in antioxidative enzyme activity in cotton varieties and reveal the stress-relieving effects of EBR by helping to maintain water potential and membrane integrity in cotton plants under salt stress.

GİRİŞ

Tarım üzerindeki olumsuz etkilerinin önemi nedeniyle, tuzluluğun bitkiler üzerindeki zararlı etkilerini azaltacak uygulamalara büyük bir talep bulunmaktadır. Tuzluluk sorunu, bilhassa az yağış alan kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde, toprakların verimliliğini önemli ölçüde düşüren bir sorundur (Kurt vd., 2023). Genel olarak tarımsal ve mühendislik çözümleri tükenmekte olduğundan temel umutlar, bitkilerin tuzlanmanın olumsuz faktörlerine karşı fizyolojik direncinin artırılması üzerine kuruludur (Munns & Gilliam, 2015). Ancak kültür bitkilerinin tuza toleransını arttırmak için klasik ıslah, genetik ve moleküler biyoloji yaklaşımlarını kullanan çok sayıda çalışmaya rağmen, pratik kullanıma uygun kültür bitkilerinin tuza toleranslı formlarının elde edilmesine yönelik çabalar bugüne kadar sınırlı bir başarı göstermekten öteye gidememiştir (Kolomeichuk et al., 2020).

Bitkilerde tuz stresi ile ilgili biyokimyasal ve moleküler mekanizmalar ise, iyon regülasyonu ve kompartımanlaşma, ozmolitlerin biyosentezi, antioksidatif enzimlerin aktivitesi, bitki hormonlarının indüksiyonu, bitkilerde tuzluluğun gen ekspresyonunda meydana getirdiği değişikliklerdir. Bu genler fonksiyonlarına göre: ozmolitleri sentezleyen genler, hücre bütünlüğünü sağlayan genler, antioksidatif enzimleri kodlayan genler, iyon dengesini düzenleyen genler, transkripsiyon faktörlerini kodlayan genlerdir (Yılmaz vd., 2011).

2020/21 pamuk üretim sezonunda Türkiye'de 1.77 milyon ton kütlü pamuk üretilmiştir. Türkiye'de üretimin %85'ini 6 il (Şanlıurfa, Aydın, Diyarbakır, Hatay, Adana ve İzmir) karşılamıştır. 2020 yılında 1.6 milyar \$ değerinde 1 milyon 57 bin ton lif pamuk ithalatı, 147 milyon \$ değerinde 81 bin ton lif pamuk ihracatı gerçekleştirilmiştir (Anonymous, 2024). Bu açıdan bakıldığında, dünya pamuk üretiminde önemli bir yere sahip olan ülkemizde, önemli ve ekonomik değeri yüksek bir kültür bitkisi konumundadır.

Pamuk, tuzluluk eşiği seviyesi 7.7 dS m^{-1} (Ashraf, 2002) ile orta derecede veya yüksek derecede ($8-12 \text{ dS m}^{-1}$) tuza toleranslı grup bitki türleri arasındadır. *Gossypium* türlerinde tuzluluğun artışına bağlı olarak verimlilikte her dS m^{-1} 'deki kayıp %5.2 olarak belirtilmektedir (Chinnusamy et al., 2005).

Brassinosteroidler (BR), hücre uzaması ve bölünmesinin teşviki ve çeşitli çevresel streslere verilen yanıtlar gibi bitki yaşamının birçok yönünde bitki büyümesini ve gelişimini düzenleyen, büyümeyi teşvik eden önemli bir hormon sınıfıdır. Brassinosteroidler, ilk olarak kolza (*Brassica napus* L.) poleninden izole edilen yeni bir grup bitki steroid hormonudur. Biyolojik olarak en aktif olan BR'ler, brassinolid (BL), 24-epibrassinolid (24-epiBL, 24-EBL, 24-EBR, EBR) ve 28-homobrassinolid'dir (28-homoBL, 28-HBL, HBR). Son araştırmalar, farklı biyotik ve abiyotik koşullara yanıt olarak metabolik reaksiyonların düzenlenmesi gibi bitkilerdeki çeşitli fizyolojik süreçlerin düzenlenmesinde BR'lerin önemli rolünü doğrulamıştır. BR'ler, patojen tarafından tetiklenen reaksiyonlara verilen yanıtların yanı sıra tuz ve kuraklık stresinin yönetimini, Reaktif Oksijen Türlerinin (ROS) temizlenmesini, herbisit ve pestisitlere karşı reaksiyonları içerir (Surgun vd., 2012; Djemal et al., 2023). Çeşitli çalışmalar, EBR uygulamasının, daha yüksek prolin birikimi ile birlikte, superoksit-dismutaz (SOD), peroksidaz (POD) ve katalaz (CAT) gibi daha yüksek antioksidan enzim aktiviteleri yoluyla, kuraklığa tolerans sağladığını ve sonuç olarak ROS üretimini ve malondialdehit (MDA) içeriğini düşürdüğünü göstermiştir. 24-epibrassinolid (EBR) uygulamasının etkili bir stres azaltıcı yaklaşım olduğu kanıtlanmıştır. Araştırmalar, ROS ve antioksidanlar arasında bir denge sağlayarak, kuraklık stresi, tuz stresi ve ağır metal stresi dahil olmak üzere çeşitli abiyotik stres toleransının sağlanmasında EBR uygulamasının potansiyel rolünü vurgulamıştır (Khan et al., 2022).

Literatür, EBR'nin aktif bir brassinolid olduğunu ve bitkilerde hücre bölünmesi veya lipid peroksidasyonu gibi farklı metabolik süreçleri işaret eden sinyal bileşiği olarak görev yaptığını göstermektedir. Ayrıca EBR, ROS temizleyici enzimleri aktive ederek reaktif oksijen türlerinin üretimini azaltır. EBR, fotosentetik pigment aparatının alt yapısını bozulmaya karşı korur, böylece fotosentezi ve diğer yaprak gazı değişim özelliklerini artırır. EBR uygulaması, stres altındaki bitkinin ozmotik durumunu ayarlamak için başta prolin olmak üzere farklı uyumlu çözünenlerin birikimini artırır (Tanveer et al., 2019).

Brassinosteroidlerin strese karşı koymada, mekanizması henüz tam anlaşılmasa da önemli katkılar sunduğu, yapılan birçok araştırmayla gösterilmiştir. EBR ile ekimden önce tohum ıslatma uygulamalarının, pamuk tohumunun çimlenmesini teşvik edip, antioksidan enzim aktivitesini artırarak ve hücre zarı lipid oksidasyonunu azaltarak pamuk fidesinin tuz toleransını arttırdığı rapor edilmiştir (Surgun et al., 2015; Dong et al., 2023). Bir çalışmada, 24-epibrassinolid (0.1 ve 10 μM EBL) ön muamelesiyle tohum hazırlamanın diazinon pestisit toksisitesinin mısır bitkisi üzerindeki hafifletici etkileri araştırılmıştır. Elde edilen verilere göre, en düşük EBL konsantrasyonuyla (0.1 μM) yetiştirilen bitkiler, toksisite stresi altında SOD, CAT, POD, askorbat peroksidaz (APX), glutatyon redüktaz (GR) ve glutatyon S-transferaz (GST) enzimlerinin aktivitesinde yukarı doğru bir artış sergilemiştir. Buna karşılık, daha yüksek EBL, antioksidan enzimlerin aktivitesi üzerinde bazı inhibitör etkiler göstermiştir. Ek olarak, düşük EBL, serbest radikal temizleme kapasitesini (DPPH), demir azaltıcı antioksidan gücünü (FRAP), fotosentez hızını, stoma iletkenliğini, prolin ve protein içeriğini arttırmıştır. EBL ayrıca, lipid peroksidasyonunu azaltarak membran bütünlüğünü sağlamıştır (Mehrian et al., 2023). Chen et al. (2022), tuz stresi altında bulunan pirinç bitkisinde, tuzluluğun olumsuz etkisini hafifletmede, tohum çimlenme göstergeleri ve fide morfolojik özelliklerinin gelişmesinde en uygun EBR konsantrasyonunun 0.5 mg L^{-1} olduğunu ve bu etkinin antioksidan enzimin artması, yapraklarda daha yüksek K^+ içeriği ve pirinç kökünde Na^+ alımının azalması yoluyla gerçekleştiğini ifade etmişlerdir. Literatüre bakıldığında konu ile ilgili çok sayıda çalışma göze çarpmaktadır. Bunların arasında; Houimli et al. (2010) biber fidelerinde ve Eleiwa et al. (2011) buğdayda sprey uygulama, Anuradha & Rao (2003) çeltikte, Shahid et al. (2011) bezelyede tohuma uygulama, Ding et al. (2012) ise patlıcan fidelerinde besin çözeltilisine ilave ederek, brassinosteroidlerin tuz stresinin olumsuz etkilerini hafiflettiğini bildirmişlerdir.

Bu çalışma, 24-epibrassinolidin NaCl etkisi altındaki 3 farklı pamuk çeşidinde enzimatik antioksidan savunma sistemi ile bitki gelişimi üzerindeki olası düzenleyici rolünü çiçeklenme dönemindeki bitkilerde incelemek ve günümüz literatürüyle kıyaslamak amacıyla planlanmış ve yürütülmüştür.

MATERYAL ve YÖNTEM

Ülkemizde yetiştirilen pamuk çeşitlerinden çimlenme testi sonuçlarına göre belirlenmiş olan 2 adet toleranslı (Nazilli 84-S ve Carmen) ve 1 adet hassas çeşit (Beyaz altın-119 [BA 119]) seçilmiş (Surgun et al., 2015) ve Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Ortaca M.Y.O'da 2016 yılında kurulan sera denemesiyle, 8 L. hacimli saksılarda torf:perlit (1:1) karışımında, 4 tekrarlı ve her saksıda 1 adet bitki olacak şekilde ve tesadüf parselleri deneme deseninde yürütülmüştür. Denemede, 3 çeşit x 3 (kontrol + 2 tuz uygulaması) x 2 (kontrol + brassinolid) olmak üzere her tekerrürde 18 uygulama bulunmaktadır. Tohumlar ekimden önce 24 saat 3 μM 24-epibrassinolid (EBR) ile muamele edilmiş (EBR önce az miktarda etanolde çözündürülmüş, sonra distile su ile uygulanacak konsantrasyondaki çözelti hazırlanmıştır), kontrol tohumları ise aynı süre distile suda bırakılmıştır. Muamele edilmiş tohumlar, hazırlanmış olan saksılara 2 cm derinliğinde ekilmişlerdir. Bitkilerin beslenmesi için modifiye Hoagland çözeltilisi (Hoagland & Arnon, 1950) kullanılmıştır. NaCl (0, 75, 150 mM), Hoagland çözeltilisine ilave edilmiştir. Tuz uygulamalarına ekimle birlikte başlanmış ve besin solüsyonu ile birlikte 5 günde bir olmak üzere (toplam 9 kez) saksılardan %20 drenaj alınincaya kadar verilmiştir.

Bitkiler ekimden 47 gün sonra (ilk çiçekler görülünce-tarak oluşumunda) hasat edilmiş, kuru ağırlıkları (gram bitki^{-1}), ayrıca yaprakların nispi su kapsamları (%RWC) Yamasaki & Dillenburg (1999), membran geçirgenliği-elektriksel iletkenlik (Electrical Conductivity -%EC) Lutts et al. (1996), yaprak alt epidermisinde stoma kilit hücre sayıları [$\text{adet (mm}^2\text{)}^{-1}$], klorofil ve karotenoid miktarları (mg g^{-1}) Strain & Svec (1966), superoksit-dismutaz (SOD) (unit mg^{-1} protein) Beauchamp & Fridovich (1971), peroksidaz (POD) ($\Delta\text{A470/min mg}^{-1}$ protein) Chance & Maehly (1955) ve Doyle & Doyle (1987) modifiye edilerek izole edilen DNA'ların kantitatif tayini ($\text{ng } \mu\text{l}^{-1}$) 260 nm'de spektrofotometre ile tespit edilmiştir.

Fizyolojik ve biyokimyasal analizlerden elde edilen verilerin parametrik test koşullarını sağlayıp sağlamadıkları Levene ve Shapiro-Wilk testleri kullanılarak incelenmiştir. Her bir veri grubu için uygulamalar arasındaki farklılıkları tespit etmek için de tek yönlü varyans analizi ve Fisher'ın Least Significant Difference (LSD) metodu uygulanmıştır. Ayrıca, pamuk çeşidi, EBR ve tuz uygulamasının incelenen parametreler üzerindeki bağımsız ve interaktif etkilerini değerlendirmek için çok yönlü varyans analizi kullanılmıştır. Gerçekleştirilen tüm testlerde anlamlılık düzeyi $\alpha = 0.05$ olarak belirlenmiştir (Zar, 2014). Çalışmanın istatistik analizlerinde SAS V 9.0 (SAS Institute, Statistical Analysis System) software kullanılmıştır.

ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Bitki kuru ağırlık miktarı

NaCl uygulamasıyla her üç çeşitte de bitkilerin kuru ağırlıkları azalmış ancak EBR uygulaması kuru ağırlıktaki bu düşüşü hafifletmiştir. Tuza toleranslı Nazilli 84-S çeşidinde, kontrolle kıyaslandığında epibrassinolid uygulanmayan EBR (-) grupta toplam kuru madde miktarındaki azalma 49 g iken, epibrassinolid uygulanan EBR (+) grupta 36 g olmuştur. Benzer eğilim diğer çeşitlerde de mevcuttur. NaCl'ün bitki kuru ağırlığında sebep olduğu azalmaya karşı EBR uygulamasının olumlu etkisi toleranslı çeşitlerde (Nazilli 84-S ve Carmen) duyarlı çeşite (BA-119) göre ılımlı oranda yüksektir (Çizelge 1). Çok yönlü varyans analizi, kuru ağırlık değerlerindeki değişkenliğin %35 ila %76'sına tuz uygulamalarının neden olduğunu göstermiştir. "Çeşit" ve "EBR", bağımsız değişkenlerinin de toplam varyasyonun %3 ila %10'unu açıkladığı belirlenmiştir ($p < 0.05$). Ayrıca, kök kuru ağırlığı bakımından BA-119'un diğer iki çeşitten önemli bir farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Çok yönlü varyans analizine göre yaprak kuru ağırlığı ve toplam kuru ağırlık üzerinde EBR x NaCl interaksiyonu önemli olup, kök kuru ağırlığında ise çeşit x EBR interaksiyonu önemli bulunmuştur.

Çizelge 1. EBR uygulamasının kuru madde miktarı üzerine etkisi

Table 1. Effect of EBR application on the dry matter amount

Çeşit	NaCl (mM)	Kuru madde (g bitki ⁻¹)					
		EBR (-)			EBR (+)		
		Kök	Yaprak	Toplam	Kök	Yaprak	Toplam
Nazilli 84-S	0	25.8±1	145±2	171±2	26.7±1	144±4	170±2
	75	18.7±1	111±1	130±3	26.3±1	123±2	149±2
	150	17.2±1	104±2	122±1	21.0±1	113±1	134±2
Carmen	0	24.8±1	147±2	172±2	26.4±1	145±3	171±2
	75	20.1±1	113±1	133±2	20.9±1	123±2	144±2
	150	18.3±1	105±2	124±2	18.1±1	116±2	134±2
BA-119	0	21.6±1	138±3	159±3	21.3±1	140±4	161±4
	75	18.9±1	110±2	129±2	19.5±1	118±2	138±3
	150	16.3±1	98±3	114±3	16.4±1	103±2	119±2
CV		0.163	0.159	0.158	0.174	0.118	0.121

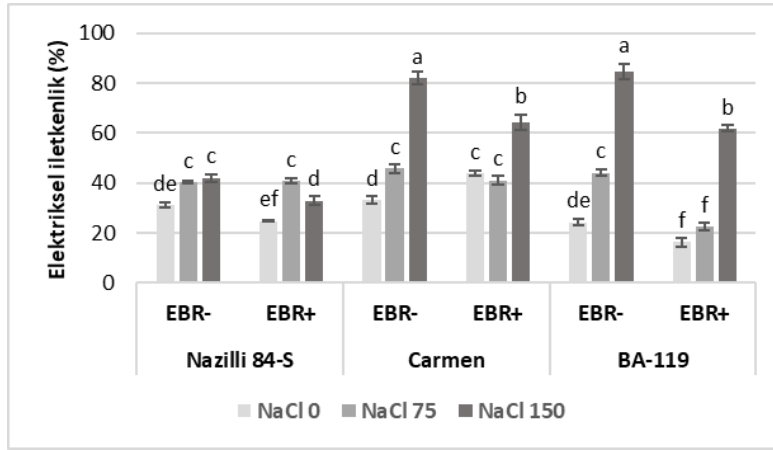
Sonuçlar ortalama \pm standart hata şeklinde sunulmuştur.

Abiyotik stres altındaki bitkilerde ilk tepki, fotosentetik verimliliğin azalmasına bağlı olarak ortaya çıkan bitki yaş ve kuru madde üretimindeki azalmadır. Wani et al. (2019), tuz stresi etkisindeki hardal (*Brassica juncea* L.) bitkisinde gövde ve köklerin kuru ve yaş ağırlıklarında NaCl etkisine bir yanıt olarak azalmanın kaydedildiğini ancak, ortama EBL ilavesiyle bu parametrelerde pozitif artışların meydana geldiğini rapor etmişlerdir. Bu durum stres altında bulunan bitkiye uygulanan EBL'nin fotosentetik mekanizma üzerinde negatif etki yaratan serbest radikallerin detoksifikasyonu ile ilişkilendirilebilir. EBL'nin tuz toksisitesine maruz kalan bitki hücrelerinin strüktürünü ve kloroplast membranını koruyucu etkilerinden dolayı klorofil parçalanmasını önleyerek fotosentetik devamlılığı sağladığına ve bitki kuru

madde kapsamını koruduğuna yönelik önemli bulgular da bu görüşü desteklemektedir (Castle et al., 2003). Konuya ilişkin yapılan birçok çalışmada da abiyotik stres altındaki bitkilerde strese bağlı % kuru maddede azalma rapor edilirken, farklı yollarla EBL uygulamalarının % kuru madde kapsamlarında pozitif etki yaptığı Özdemir vd. (2004) tarafından çeltikte (*Oryza sativa* L.), Ahmed et al. (2017) tarafından da pamukta (*Gossypium barbadense* L.) bildirilmiştir.

Elektriksel iletkenlik (%EC)

NaCl konsantrasyonu ile artan %EC, EBR uygulamalı örneklerde daha düşük düzeyde belirlenmiştir. Tuza toleranslı Nazilli 84-S çeşidinde 150 mM NaCl konsantrasyonunda %42 olan EC, EBR uygulaması sonucu %33'e düşmüştür. Benzer eğilim Carmen çeşidinde de saptanmıştır. Duyarlı çeşit BA-119'da, EBR uygulamasının etkisi daha belirgindir. 150 mM tuz konsantrasyonunda EBR (-) grupta EC %84 iken EBR (+) grupta %61 olarak bulunmuştur. Genel olarak artan NaCl konsantrasyonları ile yükselen %EC, EBR uygulaması ile istatistiki olarak önemli derecede azalmıştır. %EC değerlerinin çok yönlü varyans analizinde çeşit, EBR ve NaCl uygulamaları ve tüm interaksiyonlar önemli bulunmuş olup toplam varyasyonun %13'ünü çeşit, %51'i NaCl ve %21'ini de çeşit x NaCl interaksiyonu açıklamaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. EBR uygulamasının elektriksel iletkenlik (%) üzerine etkisi.

Figure 1. Effect of EBR application on electrical conductivity (%).

LSD = 7.51; Sonuçlar ortalama ± standart hata şeklinde sunulmuştur. Hata çubukları üzerinde gösterilen farklı harfler, uygulamalar arasında anlamlı bir farklılığın olduğunu gösterir.

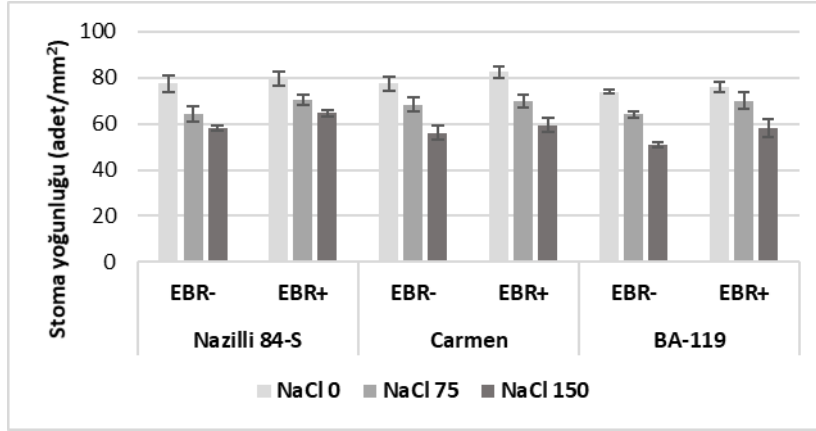
Hücre zarı stabilitesi, uzun zamandır stres toleransının bir göstergesi olarak ele alınmaktadır. Membran geçirgenliği olarak da bilinen %EC, abiyotik stres altında gelişen hücre içi ve hücre dışı ozmotik tutarsızlığın neden olduğu bir iyon kararsızlığı olarak tanımlanabilir. Abiyotik stres altındaki bitkilerde rizosfer bölgesindeki toprak çözeltisinin suda çözünür total tuz konsantrasyonunda (EC) artışa ve ozmotik potansiyelde düşüğe paralel olarak, özellikle Na iyonu etkisiyle membran geçirgenliği de artmaktadır. Bu husus birçok çalışmada değişik araştırmacılarca rapor edilmiştir (Parida & Das, 2005; Kaya et al., 2015). Membran geçirgenliğinin artması sonucunda, fotosentetik kapasitede şiddetli ve geri dönüşümsüz bir azalma görülür. Bitki metabolizması ve nihayetinde verim olumsuz etkilenir (Yılmaz vd., 2011). Çalışmada üç çeşitte de tuz konsantrasyonlarının artması ile %EC yükselmiş ve duyarlı çeşit BA-119'da daha yüksek olmuştur (Şekil 1).

Karlidağ et al. (2011) tuz stresi altındaki çilekte, 24-EBL uygulanmış bitkilerde, kontrole kıyasla daha az elektrolit sızıntısı bildirmiştir. EBR'lerin stres altında membran yapısını ve stabilitesini değiştirdiği rapor edilmiştir. MDA ile membran permeabilitesi arasında da doğrusal bir ilişki vardır. Egbichi et al. (2013), tuzla muamele edilmiş soya fasulyesi kök nodüllerinde üretilen MDA miktarının ortaya koyduğu gibi, tuz stresinin membran lipitlerinde oksidatif hasara neden olduğunu bildirmiştir. Ancak tuz stresi

altında EBR spreylemesi, buğdayda yaprak ve kökte MDA üretimini azaltabilmektedir. Ayrıca başka bir çalışmada, EBR uygulaması sonucu membran geçirgenliğinin azalması, EBR'nin iyon reseptör aktivitesini doğrudan bloke ederek plazmalemma ile etkileşime girmesi sonucu membran yapısında değişikliklere yol açarak etki gösterdiğini düşündürmüştür (Filek et al., 2018). Lutts et al. (1996), çeltikte artan tuz konsantrasyonu ile membran permeabilitesini tuza hassas çeşitte, dirençli çeşide göre daha yüksek bulmuşlardır. Araştırmacılara göre NaCl, çeltik yapraklarının doğal olarak meydana gelen yaşlanmasını hızlandırmış, klorofil ve protein konsantrasyonlarını azaltmış, membran geçirgenliğini ve malondialdehid sentezini arttırmıştır.

Stoma yoğunluğu

Çalışmada, NaCl uygulamalarıyla paralel olarak yaprak stoma kilit hücre sayısında önemli bir azalma gözlenmiştir. Tüm pamuk çeşitlerinde EBR (-) ve EBR (+) fark etmeksizin artan NaCl konsantrasyonlarıyla bitki stoma yoğunlukları arasında negatif bir korelasyon saptanmıştır. Stoma yoğunluğu tüm çeşitlerde belirgin ve yaklaşık olarak aynı oranlarda azalma göstermiştir. EBR uygulamasının tuz ortamında stoma yoğunluğu [adet (mm^2)⁻¹] üzerine beklenen olumlu etkisi, oldukça hafif olup önemsiz düzeydedir (Şekil 2). Varyans analizine göre üç faktör de (çeşit, EBR ve NaCl) önemli olup stoma yoğunluğunda gözlenen toplam varyasyonun %81'i NaCl'dendir.



Şekil 2. EBR uygulamasının birim yaprak alanı başına ortalama stoma-kilit hücre sayısı üzerine etkisi.

Figure 2. Effect of EBR application on the average number of stomatal guard cells per unit leaf area.

Sonuçlar ortalama \pm standart hata şeklinde sunulmuştur.

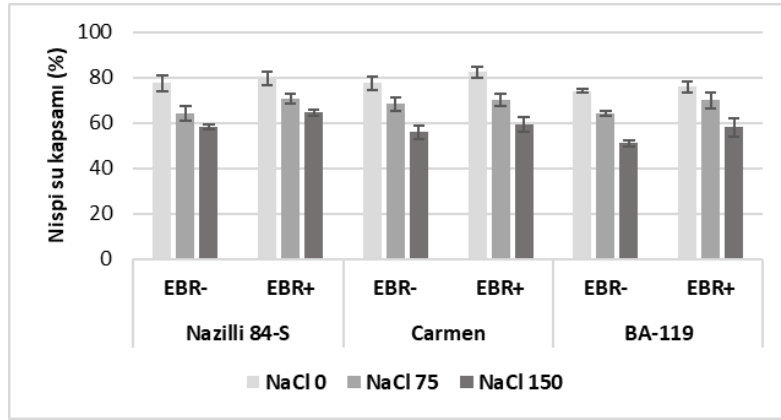
Karlıdağ et al. (2011) tuz stresinin stoma iletkenliğini olumsuz etkilediğini bildirmişlerdir. Araştırmacılara göre, genel olarak 24-EBL uygulamaları stoma iletkenliğini önemli ölçüde artırmış, ancak membran geçirgenliğini azaltmıştır. Kontrol ile karşılaştırıldığında stoma iletkenliğinde %71 düşüş bildirilmiştir. Stresli çevreye maruz kalan birçok bitkide büyümede görülen azalma, bu çalışmada da gözlemlendiği gibi genellikle fotosentetik kapasitedeki düşüş ile ilişkilidir. Bununla birlikte yaprakta 24-EBL uygulamaları stoma iletkenliğini iyileştirmiştir. Bu da, BR'lerin fotosentetik oranda sağladığı düzelmelerin, stoma veya stoma dışı faktörlerden veya bunların bileşiminden kaynaklanabileceğini göstermektedir (Dubey, 2005).

Kılıç vd. (2007), EBR ön uygulamasının normal şartlarda yetiştirilen arpa fidelerinin yapraklarında stoma sayısını, epidermis hücre sayısını, stoma indeksini, epidermis hücre genişliğini ve yaprak kalınlığını artırdığını, stoma genişliğini ve aralarındaki mesafeyi azalttığını bildirmiştir. EBR ön uygulaması yaprakların üst yüzeyinde stoma uzunluğunu kontrole göre arttırmasına rağmen, alt yüzeyde bu parametreyi azaltmıştır. Diğer bir çalışmada, arpa bitkisini BR ile işleme tabi tutmanın, potansiyel olarak stoma iletkenliğinin ve yoğunluğunun azalması yoluyla su kaybının düzenlenmesi sayesinde, tuz toleransını geliştirebileceği bildirilmiştir (Ouertani et al., 2021).

Nispi su kapsamı

Şekil 3'de görüldüğü gibi, kontrolle karşılaştırıldığında, NaCl uygulamaları ile EBR (-) ve EBR (+) gruplarında nispi su kapsamı belirgin şekilde azalmıştır. 150 mM NaCl uygulamasına bakıldığında, her 3 çeşitte de yaprakların nispi su kapsamı üzerine EBR uygulanması olumlu etki yapmıştır. Tuza toleranslı Nazilli 84-S ve Carmen çeşitlerinde EBR uygulaması sonucunda yaprakların nispi su kapsamı sırasıyla %12 ve %9 artarken, tuza duyarlı BA-119'da %19 oranında artış kaydedilmiştir. Sonuç olarak her üç çeşitte de EBR uygulamasının olumlu etkisi görülmüştür (Şekil 3).

Tuzlu koşullarda yapraktaki su içeriğinin azalması, bitki tarafından alınan su miktarının göreceli olarak azalması, bitkinin hücre turgorunu korumak amacı ile madde birikimini arttırması gibi sebeplerden kaynaklanmaktadır. Hücrede turgor kaybına sebep olan bu durum, hücre içi proseslerde kullanılan su miktarının azalmasına ve dolayısıyla verimin düşmesine neden olmaktadır (Katerji et al., 1997). Nispi su kapsamı (RWC; Relative Water Content), bitkinin su dengesi durumunun ölçülebilir bir göstergesidir, çünkü esas olarak bitkinin tam doyumluğa ulaşması için ihtiyaç duyduğu mutlak su miktarını ifade eder. Dolayısıyla nispi su kapsamı ile su potansiyeli arasında bir ilişki vardır. Bu ilişki bitkinin doğasına ve yaşına göre önemli ölçüde değişmektedir (González & González, 2001).



Şekil 3. EBR uygulamasının bitkinin nispi su kapsamı (%) üzerine etkisi

Figure 3. Effect of EBR application on the relative water content (%) of the plant.

Sonuçlar ortalama \pm standart hata şeklinde sunulmuştur.

Nispi su kapsamının azalmasına rağmen, yaprak ozmolalitesinin arttığı ve müteakiben su eksikliğinden kaynaklı yavaş gelişimin, sadece ozmotik uyumla değil aynı zamanda yaprak dokusu elastikiyetindeki azalmayla da sonuçlandığı rapor edilmiştir (Jones & Turner, 1978). Ali et al. (2008), tuz stresi altındaki hardal (*Brassica juncea*) bitkisine uygulanan 24-epibrassinolidin bitki nispi su kapsamını arttırarak strese toleransını geliştirdiğini belirtmişlerdir. Araştırmacıların bildirdiğine göre, nispi su kapsamı kontrol bitkilerinde %76, EBL grubunda %89, NaCl grubunda %51 iken NaCl+EBL grubunda %63 olarak saptanmıştır. NaCl grubu ile karşılaştırıldığında EBL uygulaması nispi su kapsamını yaklaşık olarak % 25 arttırmıştır. Agami (2013), NaCl stresi altındaki mısır (*Zea mays*) bitkisi tohumuna 24-epibrassinolid uygulamış ve nispi su kapsamında pozitif yanıtlar elde edildiğini bildirmiştir. Nispi su kapsamı, NaCl seviyesinin artmasıyla birlikte kademeli olarak önemli ölçüde azalmıştır. Kontrolle kıyasla 60 ve 120 mM NaCl için azalma oranları, sırasıyla %12 ve %16 seviyelerinde gerçekleşmiştir. Bununla birlikte, NaCl yokluğunda veya varlığında tohum ıslatma olarak EBL uygulaması nispi su kapsamını geliştirmiştir.

Klorofil ve karotenoid kapsamı

Çalışmada, pamuk bitkisi yapraklarının klorofil ve karotenoid kapsamı artan NaCl konsantrasyonlarına bağlı olarak hem EBR (-) ve hem de EBR (+) gruplarında belirgin bir şekilde azalmıştır. EBR uygulamalarının pamuk bitkisinin yaprak pigment kapsamı üzerine çok belirgin bir etki yapamadığı

görülmüş ve sonuçlardaki toplam varyasyonun sadece %0.3 ila %4.8'ini ortaya koymuştur. Ancak EBR uygulamaları ile yaprak pigment kapsamlarında saptanan azalmanın, EBR uygulanmayanlara göre daha ılımlı seyrettiği belirlenmiştir. Nazilli 84-S çeşidinin klorofil a kapsamına bakıldığında, EBR (-) grup kontrolle kıyaslandığında 150 mM NaCl uygulamasıyla meydana gelen düşüş oranı %45 iken, EBR (+) grupta %16 olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, EBR uygulamasının, tuzun olumsuz etkisini kısmen azalttığı bir göstergesi olarak kabul edilebilir. Diğer gruplarda da benzer sonuçlar alınmıştır. Klorofil a kapsamında çeşit x EBR ve EBR x NaCl interaksiyonları önemli olup her bir interaksiyon toplam varyasyonun %11'ini açıklamaktadır. Klorofil b kapsamı bakımından tüm faktörler önemli olup karotenoid içeriğinde de çeşit x EBR interaksiyonu hariç diğerleri önemli bulunmuştur.

Tuz stresinin fotosentetik mekanizmada pigment sistemi üzerine negatif etki yaparak fotosentez verimliliğinde azalmaya neden olduğu bir çok çalışmada bildirilmiştir (Parida & Das, 2005; Sadeghi & Shekafandeh, 2014; Wu et al., 2017). Tuzluluk, yaprak klorofil sentezi yolunda çalışan enzim aktivasyonunu etkileyerek direkt veya dolaylı yoldan hasar verme potansiyeline sahiptir. Altunlu (2020) yaptığı bir çalışmada, yüksek tuz dozunda (6 dS m⁻¹), kontrol uygulamasına göre biber (*Capsicum annuum* L.) bitkisinde klorofil kapsamının %26 oranında, gövde yaş ve kuru ağırlığının ise sırasıyla %26 ve %31 oranında azaldığını bildirmiştir. Araştırmacı ayrıca, tuz dozundaki artışa paralel olarak bitki dokusunun elektriksel iletkenliğinin yükseldiğini de bildirmiştir. Tanveer et al. (2018) bitkilerde strese toleransta brassinosteroidlerin rolü üzerine yaptıkları derlemede, EBR uygulamasının birçok bitkide tuz stresine toleransı ve klorofil kapsamını arttırmada önemli bir rol üstlendiğini rapor etmişlerdir. Bezelye (*Pisum sativum*), ekmeçlik buğday (*Triticum aestivum*), marul (*Lactuca sativa*), patlıcan (*Solanum melongena*), hıyar (*Cucumis sativus*), mısır (*Zea mays*) ve maş fasulyesi (*Vigna radiata*) bu bitkilerden bazılarıdır. Brassinosteroidlerin in vitro etkilerini çalışan Verma et al. (2012) yer fıstığı (*Arachis hypogaea* L.) kotiledon nodları kültüründe ortama BR'nin ilavesi ile yüksek bir in vitro çoğalma potansiyeli elde edildiğini ve BR ile total klorofil içeriğinde artış kaydedildiğini belirtmişlerdir. Diğer bir çalışmada ise, kuraklık stresi altındaki buğdayda BR'lerin etkisi araştırılmıştır. Alınan sonuçlara göre hem kardeşlenme ve hem de çiçeklenme döneminde kuraklık stresi klorofil içeriğini önemli ölçüde düşürürken, BR uygulamasıyla klorofil kapsamında ılımlı artış sağlanmış ve buğdayın büyümesi, verimi, fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerinde pozitif yönde gelişme sağlandığı rapor edilmiştir (Raza et al., 2023). Bizim çalışmamızda da tuzlu koşulların sebep olduğu klorofil ve karotenoid kapsamındaki azalmayı EBR uygulaması kısmen iyileştirmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. EBR uygulamasının bitkinin klorofil ve karotenoid içerikleri (mg g⁻¹) üzerine etkisi

Table 2. Effect of EBR application on the chlorophyll and carotenoid contents of the plant

Çeşit	NaCl (mM)	Klorofil a		Klorofil b		Karotenoid	
		EBR (-)	EBR (+)	EBR (-)	EBR (+)	EBR (-)	EBR (+)
Nazilli 84-S	0	3.95±0.05	2.66±0.11	1.92±0.05	1.62±0.05	3.32±0.21	3.72±0.17
	75	3.04±0.14	2.52±0.18	1.31±0.02	1.35±0.14	2.59±0.15	2.87±0.20
	150	2.16±0.12	2.26±0.09	0.93±0.06	1.15±0.06	2.01±0.13	2.28±0.16
Carmen	0	3.69±0.12	3.17±0.05	0.97±0.06	1.36±0.07	2.86±0.22	2.97±0.12
	75	2.53±0.10	2.76±0.11	0.67±0.06	1.03±0.08	2.27±0.12	2.67±0.10
	150	2.27±0.13	2.34±0.12	0.48±0.04	1.03±0.08	2.07±0.17	2.19±0.07
BA-119	0	3.33±0.09	3.38±0.17	1.51±0.09	1.39±0.04	4.33±0.14	3.20±0.17
	75	2.42±0.08	2.64±0.16	0.90±0.09	1.14±0.05	2.41±0.09	2.83±0.10
	150	1.57±0.11	2.59±0.05	1.00±0.02	1.02±0.02	1.67±0.10	2.13±0.08

Klorofil a LSD 0.05=0.46, Klorofil b LSD 0.05=0.30, Karotenoid LSD 0.05=0.59

Sonuçlar ortalama ± standart hata şeklinde sunulmuştur.

Antioksidatif enzim aktivitesi

Çalışmada pamuk bitkisi yapraklarında SOD ve POD enzim aktiviteleri, artan NaCl konsantrasyonlarına bağlı olarak hem EBR (-) ve hem de EBR (+) gruplarında belirgin bir şekilde artış göstermiştir ($p < 0.05$). Bu durum, bitkide tuzluluk nedeniyle oluşma potansiyeli bulunan serbest oksijen radikallerinin de-toksifikasyonuna yönelik olarak aktifleşen hücresel savunma sisteminin çalışmaya başladığının bir göstergesidir. Çok yönlü varyans analizinde SOD enzim aktivitesinde tüm faktörlerin etkisi önemli bulunurken POD aktivitesinde çeşit x EBR interaksyonu ve çeşit x EBR x NaCl interaksyonu hariç diğerleri (çeşit, EBR, NaCl, çeşit x NaCl ve EBR x NaCl) önemli bulunmuştur. Tuza tolerant Nazilli 84-S ve Carmen çeşitlerinde EBR (-) grupta 150 mM NaCl uygulamasıyla saptanan SOD enzim aktivite artışı sırasıyla yaklaşık olarak %200 ve %90 seviyelerinde iken, bu oran tuza hassas BA-119'da %60 olarak belirlenmiştir. Diğer yandan EBR (+) grupta ise, bu oranlar %290, %87 ve %65 olarak belirlenmiştir. Tolerant ve hassas çeşitlerde verilen tepki yaklaşık olarak benzerdir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Pamuk bitkisinde SOD ve POD enzim aktivitesi üzerine EBR'nin etkisi

Table 3. Effect of EBR on SOD and POD enzyme activity in cotton plant

Çeşit	NaCl (mM)	SOD (Unit mg protein ⁻¹)		POD ($\Delta A_{470} \text{ min}^{-1} \text{ mg protein}^{-1}$)	
		EBR (-)	EBR (+)	EBR (-)	EBR (+)
Nazilli 84-S	0	11.19±0.31 g	13.60±0.40 fg	2.25±0.11 ef	2.57±0.11 def
	75	23.82±1.63 cde	28.96±2.48 bc	4.62±0.04 bc	5.04±0.12 b
	150	33.87±1.48 b	53.02±4.37 a	5.69±0.28 ab	6.95±0.31 a
Carmen	0	13.12±0.93 g	18.99±1.16 defg	2.06±0.18 f	2.29±0.11 ef
	75	19.56±1.98 defg	29.40±1.67 bc	3.23±0.07 def	3.56±0.11 cd
	150	24.94±1.41 cd	35.50±2.70 b	4.74±0.19 bc	5.10±0.13 b
BA-119	0	12.25±0.83 g	13.34±0.22 fg	2.40±0.18 def	2.76±0.05 de
	75	15.44±1.74 efg	16.46±1.39 defg	3.25±0.09 def	3.60±0.07 cd
	150	19.45±1.76 defg	22.02±2.44 cdef	3.48±0.07 cde	4.59±0.37 c

SOD LSD 0.05=8.87, POD LSD 0.05=1.27

Sonuçlar ortalama ± standart hata şeklinde sunulmuştur.

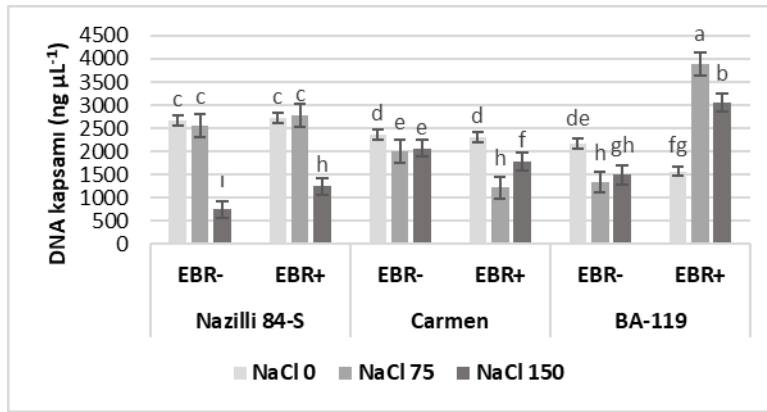
Değerlerin yanındaki farklı harfler, uygulamalar arasında anlamlı bir farklılığın olduğunu gösterir.

Bitkide tuzlu koşullarda stres etkisi ile serbest radikaller özellikle de süper oksit (O_2^-) molekülü artmaktadır. Bu da lipit peroksidasyonuna, yağ asidi doygunluğuna ve sonuçta membran bütünlüğüne zarar vermektedir. Süper oksit genellikle H_2O_2 oluşturmak suretiyle Calvin döngüsünün birçok enziminin inaktivasyonuna neden olmaktadır. Bitkiler de bu oksidatif zararın yol açtığı yıkıcı etkilere karşı antioksidan koruyucu sistemleri ile mücadele etmektedirler. Tuz stresinin derecesine bağlı olarak bu enzimatik antioksidanların aktivitesinde bir artış olmaktadır (Yılmaz vd., 2011). Brassinosteroidler kültür bitkilerinde büyüme ve verimi olumlu etkilemelerinin yanı sıra, farklı abiyotik stres tiplerine karşı bitkilerde direnci geliştirici etki de göstermektedirler. Tuz stresi gibi ağır metal stresi de bir abiyotik stres tipidir ve önemli oranda serbest radikal üretimini sonuçlanabilir. Eğer bu serbest radikal üretimi antioksidatif kapasitedeki artışla desteklenmez ise, metabolik olarak yıkım süreci başlayabilir. Shahzad et al. (2018), ağır metal stresi altındaki çeltik (*Oryza sativa* L.), turp (*Raphanus sativus* L.), hardal (*Brassica juncea* L.), köpek üzümü (*Solanum nigrum* L.) ve domates (*Solanum lycopersicum* L.) bitkilerine EBL uygulanmasının antioksidatif aktiviteyi önemli oranda arttırdığını rapor etmişlerdir. MDA kapsamlarında %40'a varan artışların yanı sıra, SOD ve CAT kapsamlarında %80'e varan aktivite artışı bildirilmiştir. Tuz stresi altındaki bitkide antioksidatif sistemin regülasyonu büyüme ve gelişmenin süreğenliği açısından bir gerekliliktir. Wani et al. (2019), tuz stresi etkisindeki hardal (*Brassica juncea* L.) bitkisinde antioksidatif sistemin regülasyonu için EBL uygulamasının pozitif sonuçlarını rapor etmişlerdir. Araştırmacının elde ettiği verilere göre, peroksidaz (POX), CAT ve SOD aktivitelerinde sırasıyla %130, %80 ve %118'e varan

artışlar saptanmış ve tuz stresi altında bulunan bitkide antioksidatif sistem epibrassinolid uygulamasıyla regüle edilmiştir. Diğer yandan Zeng et al. (2024), çalışmalarında yüksek tuzluluğun, bir mangrov türünde (*Kandelia obovata*) BR biyosentez genlerinin ekspresyonunu ve endojen BR seviyelerini arttırdığını bildirmişlerdir. Ardından, tuzun indüklediği BR'nin antioksidan enzimlerin aktivitelerini ve gen ekspresyonlarını tetikleyerek malondialdehit ve hidrojen peroksit düzeylerini azalttığını ve ardından reaktif oksijen türlerinin blokesinde ve köklerde Na^+/K^+ homeostazisini modüle edip, oksidatif hasarı azaltma yoluyla, *Kandelia obovata*'nın yüksek tuzluluğa tepkisindeki BR mekanizması hakkında önemli bir katkı sağladığını rapor etmişlerdir. Kolomeichuk et al. (2023), bitkilerde tuz direncinin oluşumunda endojen BR'lerin önemine dikkat çekmişlerdir. Patateste (*Solanum tuberosum*) tuz stresine tepki olarak endojen BR profilinin değiştiğinin gösterildiğini ifade eden araştırmacılar, BR'lerin tuz stresindeki koruyucu etkisinin, BR'lerin fotosentetik pigmentlerin bozulmasını azaltarak ve hücre antioksidan sistemini aktive ederek fotosentetik süreçlerin verimliliğini arttırdığı gerçeğine dayandığını rapor etmişlerdir. Araştırmacılar buna ilaveten, tuz stresine maruz kalan kolza (*Brassica napus* L.) bitkisinde endojen BR seviyesinin arttığını ve bunun BR'lerin muhtemelen tuz direncinin düzenlenmesindeki rolünden kaynaklandığını da bildirmişlerdir.

DNA kapsamı

Çalışmada, pamuk tohumlarının EBR ile muamelesi, DNA seviyelerinin artmasıyla ilişkilendirilmiştir. DNA verimi ortalama en düşük $744 \text{ ng } \mu\text{L}^{-1}$ ile Nazilli 84-S çeşidinde 150 mM NaCl uygulamalı örneklerde bulunmuştur. DNA içeriğinin en yüksek olduğu örnekler ise; hassas çeşit Beyaz Altın 119'da 75 ve 150 mM NaCl 'lü koşulda EBR uygulamalı örneklerde sırasıyla $3898 \text{ ng } \mu\text{L}^{-1}$ ve $3062 \text{ ng } \mu\text{L}^{-1}$ bulunmuştur. Nazilli 84-S çeşidinde EBR (-) grupta $744 \text{ ng } \mu\text{L}^{-1}$ olan DNA kapsamı, aynı çeşitte EBR uygulaması sonucu yaklaşık %70 oranında artarak $1254 \text{ ng } \mu\text{L}^{-1}$ seviyesine yükselmiştir. Benzer eğilim BA-119 çeşidinde de belirlenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. EBR'nin pamuk bitkisinin DNA kapsamı üzerine etkisi

Figure 4. Effect of EBR on DNA content of cotton plant

LSD 0.05=224.4; Sonuçlar ortalama \pm standart hata şeklinde sunulmuştur.

BR'ler, transkripsiyon ve translasyon süreçlerinde bitki dokusunun büyümesine katılır. Bitki dokusunun büyümesinin aktivasyonunun ve daha yüksek RNA ve DNA polimeraz seviyelerinin, DNA, RNA ve protein içeriğinin artmasıyla ortaya çıktığı gösterilmiştir. Bu enzim aktivitelerinin artırılması, gen ekspresyonunun BR'ler tarafından düzenlenmesinin bir sonucu olabilir ve BR'ler tarafından indüklenen büyüme teşvikiyle doğrudan veya dolaylı olarak ilgili olabilir. BR'nin indüklediği fizyolojik etkilerin çeşitli RNA sentezi ve protein sentezi inhibitörleri tarafından inhibisyonu araştırılmıştır. Sonuçlar BR'lerin fizyolojik etkilerinin DNA, RNA ve hücre proteinlerinin sentezine bağlı olduğunu göstermektedir (Kalinich et al., 1986). Tuz stresi hücre gen ekspresyon mekanizmasını etkiler. Bu nedenle nükleik asitlerin işlenmesinde yer alan moleküllerin de etkilenmesi muhtemeldir (Mahajan & Tuteja, 2005). Nükleik asit ve protein sentezi

bitkide büyüme boyunca erken aktive olan iki prosesdir ve bu prosesler NaCl ile baskılanır fakat fitohormonların etkisi ile de onarılabılır. Brassinosteroidlerin de nükleik asit sentezini etkileyerek büyümeyi regüle ettikleri ve stres koşullarında brassinolid uygulaması ile RNA, DNA ve protein içeriklerinin artması sonucu büyümede iyileşme olduğu belirtilmektedir (Anuradha & Rao, 2001; Parida & Das, 2005).

Şekil 4'den de görülebileceği gibi, NaCl uygulaması ile tüm EBR (-) gruplarda pamuk (*Gossypium hirsutum*) bitkisinin DNA kapsamı azalmıştır. DNA kapsamındaki en fazla azalma tuza tolerant Nazilli 84-S, EBR (-) grupta yaklaşık %70 düzeyinde gerçekleşmiştir. EBR (+) grupta da benzer eğilim mevcuttur. Buna karşın, Carmen çeşidindeki düşüş daha ılımlıdır. Dikkat çeken husus, tuza hassas BA-119'da görülmüştür. Bu çeşitte EBR (-) grupta DNA kapsamı kontrole kıyasla %31 oranında azalırken, EBR (+) grupta %95 düzeyinde artış kaydetmiştir. Bu durum, tuza hassas çeşitte EBR uygulamasının hücre DNA hasarını engelleyici bir etki yaptığının göstergesidir.

Tuzlu koşullarda ekzogen brassinolid uygulaması ile bitkide çözünür protein, DNA ve RNA miktarının arttığı; yer fıstığı (*Arachis hypogae* L.) (Vardhini & Rao, 1998), su yosunu (*Chlorella vulgaris*) (Bajguz, 2000), ve turp (*Raphanus sativus*) (Vardhini et al. 2012) gibi bazı bitkilerde gösterilmiştir. *Chlorella vulgaris* üzerinde yürütölen bir çalışmada, BR'lerin nükleik asit ve protein içeriğinin artırılmasındaki uyarıcı rolü doğrulanmıştır. Alglerin 36 saatlik ekimi sırasında gelişim döngüsünün kısalması ve verimliliğinin iki ila üç kat artması, transkripsiyon ve translasyon işlemlerinin oranında olağandışı bir artış olduğunu göstermektedir (Bajguz, 2000). Ayrıca, Vardhini (2012), tuzlu koşullarda yetiştirilen iki sorgum (*Sorghum* L.) varyetesinde yapraktan brassinolid uygulamasının çözünür protein ve RNA seviyelerini yükselttiğini ve brassinolidin daha fazla tuzlu olan bölgede daha az tuzlu bölgeye göre daha etkili olduğunu belirterek, tuz stresinin negatif etkisine karşı koyma kabiliyeti gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır.

SONUÇ

Çalışmada denenen 24-epibrassinolidin, pamuk bitkisinde tuz stresinin azaltılmasında etkili olma potansiyeli ortaya konulmuştur. EBR uygulamaları, antioksidatif sistemi uyarıp enzim aktivasyonunu sağlayarak, hücre membran bütünlüğünü ve su potansiyelini korumuş, pigment ve DNA hasarını azaltıcı bir etki sergilemiştir. Pamukta 3 µM gibi bir dozda uygulamanın olumlu etkisi gözlenmiş olup, başka uygulama şekil ve dozlarının da denenerek daha etkili sonuçlar alınacağı düşünülmektedir. Böylece tarımsal üretimde geniş bir uygulama olanağı potansiyeli doğabilecektir.

Veri Kullanılabilirliği

Veriler makul talep üzerine sağlanabilmektedir.

Yazar Katkıları

Çalışmanın konsepti ve tasarımı: BB, ALT, HA; örnek toplama: HA, BB; verilerin analizi ve yorumlanması: HA, BB, ALT, FA, YSA; istatistiksel analiz: BB, HA; görselleştirme: ALT, BB, HA, FA, YSA; makalenin yazımı: ALT, BB, HA.

Çıkar çatışması

Bu çalışmada yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Etik Beyan

Bu araştırma için etik kurul raporuna ihtiyaç olmadığını beyan ederiz.

Makale Açıklaması

Bu makale Alan Editörü Prof. Dr. Fatma AYKUT TONK tarafından düzenlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Agami, R.A., 2013. Alleviating the adverse effects of NaCl stress in maize seedlings by pretreating seeds with salicylic acid and 24-epibrassinolide. *South African Journal of Botany*, 88: 171-177. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2013.07.019>
- Ahmed, H.H.A., E. Darwish & M.G. Alobaidy, 2017. Impact of putrescine and 24-epibrassinolide on growth, yield and chemical constituents of cotton (*Gossypium barbadense* L.) plant grown under drought stress conditions. *Asian Journal of Plant Sciences*, 16 (1): 9-23. <https://doi.org/10.3923/ajps.2017.9.23>
- Ali, B., S. Hayat, Q. Fariduddin & A. Ahmad, 2008. 24-Epibrassinolide protects against the stress generated by salinity and nickel in *Brassica juncea*. *Chemosphere*, 72: 1387-1392. <https://doi.org/10.1016/j.chemosfer.2008.04.012>
- Altunlu, H., 2020. The effects of mycorrhiza and rhizobacteria application on growth and some physiological parameters of pepper (*Capsicum annuum* L.) under salt stress. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 57 (4): 501-510. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.655491>
- Anonymous, 2024. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF> (Erişim tarihi: 12.01.2024).
- Anuradha, S. & S.S.R. Rao, 2001. Effect of brassinosteroids on salinity stress induced inhibition of seed germination and seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Growth Regulation*, 33: 151-153. <https://doi.org/10.1023/A:1017590108484>
- Anuradha, S. & S.S.R. Rao, 2003. Application of brassinosteroids to rice seed (*Oryza sativa* L.) reduced the impact of salt stress on growth, prevented photosynthetic pigment loss and increased nitrate reductase activity. *Plant Growth Regulation*, 40: 29-32. <https://doi.org/10.1023/A:1023080720374>
- Ashraf, M., 2002. Salt tolerance of cotton: Some new advances. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 21 (1): 1-30. <https://doi.org/10.1080/0735-260291044160>
- Bajguz, A., 2000. Effect of brassinosteroids on nucleic acids and protein content in cultured cells of *Chlorella vulgaris*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 38 (3): 209-215. [https://doi.org/10.1016/S0981-9428\(00\)00733-6](https://doi.org/10.1016/S0981-9428(00)00733-6)
- Beauchamp, C & I. Fridovich, 1971. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry*, 44: 276-287. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(71\)90370-8](https://doi.org/10.1016/0003-2697(71)90370-8)
- Castle, J., T. Montoya & G.J. Bishop, 2003. "Selected Physiological Responses of Brassinosteroids: A Historical Approach, Chapter 2, 45-68". In: *Brassinosteroids, Bioactivity and Crop Productivity* (Eds. S. Hayat & A. Ahmad), Springer, 246 pp.
- Chance, B. & C. Maehly, 1955. Assay of Catalase and Peroxidases. *Methods and Enzymology*, 11: 764-775.
- Chen, Y., J. Ge, Y. Liu, R. Li, R. Zhang, K. Li, Z. Huo, K. Xu, H. Wei & Q. Dai, 2022. 24-Epibrassinolide alleviates the adverse effect of salinity on rice grain yield through enhanced antioxidant enzyme and improved K⁺/Na⁺ homeostasis. *Agronomy*, 12: 2499. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102499>
- Chinnusamy, V., A. Jagendorf & J.K. Zhu, 2005. Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Science*, 45: 437-448. <https://doi.org/10.2135/cropsci2005.0437>
- Ding, H.D., X.H. Zhu, Z.W. Zhu, S.J. Yang, D.S. Zha & X.X. Wu, 2012. Amelioration of salt-induced oxidative stress in eggplant by application of 24-epibrassinolide. *Biologia Plantarum*, 56 (4): 767-770. <https://doi.org/10.1007/s10535-012-0108-0>
- Djemal, R., H. Moez & E. Chantal, 2023. "Control of Plant Responses to Salt Stress: Significance of Auxin and Brassinosteroids, Open Access Peer-Reviewed Chapter 6". In: *Making Plant Life Easier and Productive Under Salinity-Updates and Prospects* (Ed. A.A. Naser), IntechOpen, 176 pp., EBook ISBN: 978-1-83768-878-4., <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.106124>
- Dong, Z., J. Huang, T. Qi, Q. Fu, A. Meng & Y. Fu, 2023. Effects of plant regulators on the seed germination and antioxidant enzyme activity of cotton under compound salt stress. *Plants*, 12 (24): 4112. <https://doi.org/10.3390/plants12244112>
- Doyle, J.J. & J.L. Doyle, 1987. A Rapid isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochemical Bulletin*, 19: 11-15.
- Dubey, R.S., 2005. "Photosynthesis in Plants under Stressful Conditions, 717-738". In: *Hand Book Photosynthesis* (2nd Edition) (Ed. M. Pessarakli), C.R.C. Press, New York, USA, 883 pp.

- Egbichi, I., M. Keyster, A. Jacobs, A. Klein & N. Ludidi, 2013. Modulation of antioxidant enzyme activities and metabolites ratios by nitric oxide in short-term salt stressed soybean root nodules. *South African Journal of Botany*, 88: 326-333. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2013.08.008>
- Eleiwa, M.E., S.O. Bafeel & S.A. Ibrahim, 2011. Influence of brassinosteroids on wheat plant (*Triticum aestivum* L.) production under salinity stress conditions I- Growth parameters and photosynthetic pigments. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5 (5): 58-65.
- Filek, M., A. Sieprawska, J. Oklestkova, J. Biesaga-Kościelniak, Z. Miszalski & A. Janeczko, 2018. 24-Epibrassinolide as a modifier of antioxidant activities and membrane properties of wheat cells in zearalenone stress conditions. *Journal of Plant Growth Regulation*, 37: 1085-1098. <https://doi.org/10.1007/s00344-018-9792-0>
- González, L. & M. González-Vilar, 2001. "Determination of Relative Water Content, Chapter 14, 207-212". In: *Handbook of Plant Ecophysiology Techniques* (Ed. M.J.R. Roger), Springer, Dordrecht, 468 pp. https://doi.org/10.1007/0-306-48057-3_14
- Hoagland, D.R. & D.I. Arnon, 1950. *The Water-Culture Method for Growing Plants without Soil*. University of California, College of Agriculture, Berkeley, 32 pp.
- Houimli, S.I.M., M. Denden & B.D. Mouhanded, 2010. Effects of 24-epibrassinolide on growth, chlorophyll, electrolyte leakage and proline by pepper plants under NaCl-stress. *EurAsian Journal of Biosciences*, 4: 96-104. <https://doi.org/10.5053/ejobios.2010.4.0.12>
- Jones, M.M. & N.C. Turner, 1978. Osmotic adjustment in leaves of Sorghum in response to water deficits. *Plant Physiology*, 61: 122-126. <https://doi.org/10.1104/pp.61.1.122>
- Kalinich, J.F., N.B. Mandava & J.A. Todhunter, 1986. Relationship of nucleic acid metabolism to brassinolide induced responses in beans. *Journal of Plant Physiology*, 125 (3-4): 345-353.
- Karlidağ, H., E. Yıldırım & M. Turan, 2011. Role of 24-epibrassinolide in mitigating the adverse effects of salt stress on stomatal conductance, membrane permeability, and leaf water content, ionic composition in salt stressed strawberry (*Fragaria xananassa*). *Scientia Horticulturae*, 130: 133-140. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.06.025>
- Katerji, N., J.W., Van Hoorn, A. Hamdy, M. Mastrorilli & E. Mou Karzel, 1997. Osmotic adjustment of sugar beets in response to soil salinity and its influence on stomatal conductance, growth and yield. *Agricultural Water Management*, 34 (1): 57-69. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(96\)01294-2](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(96)01294-2)
- Kaya, C., M. Ashraf, O. Sönmez, A.L. Tuna, T. Polat & S. Aydemir, 2015. Exogenous application of thiamin promotes growth and antioxidative defense system at initial phases of development in salt-stressed plants of two maize cultivars differing in salinity tolerance. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37: 1741-1753. <https://doi.org/10.1007/s11738-014-1741-3>
- Khan, R., X. Ma, Q. Hussain, M. Asim, A. Iqbal, X. Ren, S. Shah, K. Chen & Y. Shi, 2022. Application of 2,4-epibrassinolide improves drought tolerance in tobacco through physiological and biochemical mechanisms. *Biology*, 11: 1192. <https://doi.org/10.3390/biology11081192>
- Kılıç, S., K. Çavuşoğlu & K. Kabar, 2007. Effects of 24-Epibrassinolide on salinity stress induced inhibition of seed germination, seedling growth and leaf anatomy of barley. *SDÜ-Fen Edebiyat Fakültesi, Fen Dergisi*, 2 (1): 41-52.
- Kolomeichuk, L.V., M.V. Efimova & I.E. Zlobin, 2020. 24-Epibrassinolide alleviates the toxic effects of NaCl on photosynthetic processes in potato plants. *Photosynthetic Research*, 146: 151-163. <https://doi.org/10.1007/s11120-020-00708-z>
- Kolomeichuk, L.V., E.D. Danilova, O.K. Murgan, A.L. Sauchuk, R.P. Litvinovskaya, V.A. Khripach, V.V. Kuznetsov & M.V. Efimova, 2023. Endogenous brassinosteroids are involved in the formation of salt resistance in plants. *Doklady Biological Sciences*, 511: 259-263. <https://doi.org/10.1134/S0012496623700485>
- Kurt, C. H., M. Tunçtürk & R. Tunçtürk, 2023. Tuz stresi koşullarında yetiştirilen soya (*Glycine max* L.) bitkisinde bazı fizyolojik ve biyokimyasal değişimler üzerine salisilik asit uygulamalarının etkileri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 60 (1): 91-101. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.1053742>
- Lutts, S., J.M. Kinet & J. Bouharmont, 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*, 78 (3): 389-398. <https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0134>
- Mahajan, S & N. Tuteja, 2005. Cold, salinity and drought stresses: An overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 444: 139-158. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2005.10.018>

- Mehrian, S.K., N. Karimi & F. Rahmani, 2023. 24-Epibrassinolide alleviates diazinon oxidative damage by escalating activities of antioxidant defense systems in maize plants. *Scientific Reports*, 13: 19631. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-46764-y>
- Munns, R. & M. Gilliam, 2015. Salinity tolerance of crops-what is the cost? *New Phytologist*, 208: 668-673. <https://doi.org/10.1111/nph.13519>
- Ouertani, R.N., D. Arasappan, G. Abid, C.M. Ben, R. Jardak & H. Mahmoudi, 2021. Transcriptomic analysis of salt-stress-responsive genes in barley roots and leaves. *International Journal of Molecular Sciences*, 22 (15): 8155-8172. <https://doi.org/10.3390/ijms22158155>
- Özdemir, F., M. Bor, T. Demiral & İ. Türkan, 2004. Effects of 24-epibrassinolide on seed germination, seedling growth, lipid peroxidation, proline content and antioxidative system of rice (*Oryza sativa* L.) under salinity stress. *Plant Growth Regulation*, 42 (3): 203-211. <https://doi.org/10.1023/B:GROW.0000026509.25995.13>
- Parida, A.K. & A.B. Das, 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60 (3): 324-349. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.06.010>
- Raza, M.A.S., M.A. Ibrahim, A. Ditta, R. Iqbal, M. U. Aslam, F. Muhammad, S. Ali, F. Çiğ, B. Ali, R.M. Ikram, M.N. Muzamil, M.H. Rahman, M.S. Alwahibi & M.S. Elshikh, 2023. Exploring the recuperative potential of brassinosteroids and nano-biochar on growth, physiology, and yield of wheat under drought stress. *Scientific Reports*, 13: 15015. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-42007-2>
- Sadeghi, F. & A. Shekafandeh, 2014. Effect of 24-epibrassinolide on salinity-induced changes in loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl). *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 87: 182-189. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2014.087.026>
- Shahid, M.A., M.A. Pervez, R.M. Balal, N.S. Mattson, A. Rashid, R. Ahmad, C.M. Ayyub & T. Abbas, 2011. Brassinosteroid (24-epibrassinolide) enhances growth and alleviates the deleterious effects induced by salt stress in pea (*Pisum sativum* L.). *Australian Journal of Crop Science*, 5 (5): 500-510.
- Shahzad, B., M. Tanveer, Z. Che, A. Rehman, S.A. Cheema, A. Sharma, H. Song, S. Rehman & D. Zhaorong, 2018. Role of 24-epibrassinolide (EBL) in mediating heavy metal and pesticide induced oxidative stress in plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 147: 935-944. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.066>
- Strain, H.H. & W.A. Svec, 1966. "The Chlorophylls, 21-66". In: II. Extraction, Separation, Estimation and Isolation of Chlorophylls (Eds. L.P. Vernon & G.R. Seely), Academic Press, N.Y., 447pp.
- Surgun, Y., E. Yılmaz, B. Çöl & B. Bürün, 2012. Altıncı grup bitki hormonu: Brassinosteroidler. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8 (1): 27-46.
- Surgun, Y., H. Altunlu, S. Türkecul, B. Bürün & İ. Yokaş, 2015. Effects of 24-Epibrassinolide on growth and some antioxidant enzymes of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cultivars under NaCl stress. *Journal of Applied Biological Sciences*, 9 (3): 9-17.
- Tanveer, M., B. Shahzad, A. Sharma, S. Biju & R. Bhardwaj, 2018. 24-Epibrassinolide; an active brassinolide and its role in salt stress tolerance in plants: A review. *Plant Physiology and Biochemistry*, 130: 69-79. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.06.035>
- Tanveer, M., B. Shahzad, A. Sharma & E.A. Khan, 2019. 24-Epibrassinolide application in plants: An implication for improving drought stress tolerance in plants. A review, *Plant Physiology and Biochemistry*, 135: 295-303. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.12.013>
- Vardhini, B.V. & S.S.R. Rao, 1998. Effects of brassinosteroids on growth, metabolite content and yield of *Arachis hypogaea*. *Phytochemistry*, 48 (6): 927-930. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(97\)00710-3](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(97)00710-3)
- Vardhini, B.V., 2012. Application of brassinolide mitigates saline stress of certain metabolites of sorghum grown in Karaikal. *Journal of Phytology*, 4 (4): 1-3.
- Vardhini, B.V., E. Sujatha & S.S.R. Rao, 2012. Influence of brassinosteroids on metabolites of *Raphanus sativus* L. *Journal of Phytology*, 4 (2): 45-47.
- Wani, A.S., A. Ahmad, S. Hayat & I. Tahir, 2019. Epibrassinolide and proline alleviate the photosynthetic and yield inhibition under salt stress by acting on antioxidant system in mustard. *Plant Physiology and Biochemistry*, 135: 385-394. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.01.002>
- Verma, A., C.P. Malik & V.K. Gupta, 2012. In vitro effects of Brassinosteroids on the growth and antioxidant enzyme activities in groundnut. *International Scholarly Research Notices*, 356485: 1-8. <https://doi.org/10.5402/2012/356485>

- Wu, W., Q. Zhang, E. Ervin, Z. Yang & X. Zhang, 2017. Physiological mechanism of enhancing salt stress tolerance of perennial ryegrass by 24-epibrassinolide. *Frontiers in Plant Science*, 8:1017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01017>
- Yamasaki, S. & L.R. Dillenburg, 1999. Measurements of leaf relative water content in *Araucaria angustifolia*. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 11 (2): 69-75.
- Yılmaz, E., A.L. Tuna & B. Brn, 2011. Bitkilerin tuz stresine karşı geliştirdikleri tolerans stratejileri. *C.B.U. Journal of Science*, 7 (1): 47-66.
- Zar, J.H., 2014. *Biostatistical Analysis*. 5th Edition. Pearson Education, India, 761 pp.
- Zeng, L.L., S. Ling-Yu, W. Xuan, M. Dong, S. Shi-Wei, W. Xiu-Xiu & Z. Hai-Lei, 2024. Brassinosteroid enhances salt tolerance via S-nitrosoglutathione reductase and nitric oxide signaling pathway in mangrove *Kandelia obovata*. *Plant, Cell & Environment*, 47 (2): 511-526. <https://doi.org/10.1111/pce.14745>



Review Article
(Derleme Makale)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2024, 61 (3):383-399
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1444785>

Onur AKSOY¹

Kamil ERKEN¹

¹ Bursa Technical University, Faculty of Forestry, Department of Landscape Architecture, 16310, Yıldırım, Bursa, Türkiye

* Corresponding author (Sorumlu yazar):
onur.aksoy@btu.edu.tr

Keyword: Cool climate succulent species, green roof, phytogeography, succulent plants, warm climate succulent species

Anahtar sözcükler: Serin iklim sukulent türleri, yeşil çatı, fitocoğrafya, sukulent bitkiler, sıcak iklim sukulent türleri

Selection of succulent species to be used on green roofs according to phytogeographic regions: Türkiye example

Yeşil çatılarda kullanılacak sukulent türlerinin fitocoğrafik bölgelere göre seçimi: Türkiye örneği

Received (Alınış): 29.02.2024

Accepted (Kabul Tarihi): 27.06.2024

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the succulent plant species that can be used on green roofs to be recommended for 3 phytogeographic regions in Türkiye.

Three phytogeographic regions in Türkiye and the succulent taxa found in the natural flora of these regions were chosen as the study material. In the study, firstly, literature search was conducted. Then, family, endemism, hairiness, climate, altitude and habitat status of succulent species obtained from the literature were determined. In line with the information obtained in the last stage, taxa that can be recommended for green roofs in 3 different phytogeographic regions are listed.

As a result of the study, it was determined that *Saxifraga* spp. and *Sempervivum* spp. in cool climates, *Umbilicus* spp. and *Rosularia* spp hot climates that the genera are the genera with the highest number of taxa. Also, ranked in both cool and warm climates, *Sedum* spp. and *Rosularia* spp. first in terms of the species richness of its genera

The findings of this study are of importance in terms of helping the selection of the right succulent species that can be used on green roofs for countries located in similar phytogeographic regions around the world.

ÖZ

Bu çalışmadaki amaç Türkiye'de 3 fitocoğrafik bölge için tavsiye edilecek yeşil çatılarda kullanılacak sukulent bitki türlerinin belirlenmesidir.

Çalışma materyali olarak Türkiye'deki üç fitocoğrafik bölge ve bu bölgelerin doğal florasında bulunan sukulent taksonlar seçilmiştir. Çalışmada öncelikle literatür araştırması yapılmıştır. Daha sonra literatürden elde edilen sukulent türlerinin familyası, endemizmi, tüylülüğü, iklimi, rakımı ve habitat durumu belirlendi. Son aşamada elde edilen bilgiler doğrultusunda 3 farklı fitocoğrafik bölgede yeşil çatı için önerilebilecek taksonlar listelenmiştir.

Çalışma sonucunda *Saxifraga* spp. ve *Sempervivum* spp. serin iklimlerde *Umbilicus* spp. ve *Rosularia* spp sıcak iklime sahip cinsler en fazla takson içeren cinslerdir. Ayrıca hem serin hem de sıcak iklimlerde yer alan *Sedum* spp. ve *Rosularia* spp. cinsinin tür zenginliği açısından birinci sırada yer almaktadır.

Bu çalışmanın çıktıkları dünya çapında benzer fitocoğrafik bölgelerde bulunan ülkeler için yeşil çatılarda kullanılacak doğru sukulent türlerinin seçimine yardımcı olması açısından önemlidir.

INTRODUCTION

Plants in cities have an important effect on lowering air temperatures. However, the amount of space available for green infrastructure is less in cities where the built-up area is high (Fernandez et al., 2013; Van Mechelen et al., 2015). Roofs can cover about 20-30% of the horizontal surface in a city (Zhang et al., 2021). This makes roofs the primary area for vegetation (Farrell et al., 2012; Monteiro et al., 2017). Green roofs have a flat or sloping structure designed to support vegetation (Dvorak & Volder, 2010). Green roofs are heavily preferred in urban areas as they offer solutions to environmental problems. Thanks to green roofs, surface water runoff can be reduced (Wilkinson & Feitosa, 2015), can provide a habitat for wildlife, may mitigate the urban heat island effect (Klein & Coffman, 2015), building insulation and energy efficiency can be upgraded (Jim, 2014; Scharf & Zluwa, 2017), can improve air quality, create aesthetic and comfortable value and provide opportunities for urban food production (Razzaghamanesh et al., 2014; Vanuytrecht et al., 2014; Vahdati et al., 2017).

Despite these functions of green roofs, the demanding and stressful growing environment routinely allows only a limited number of plant species to survive (Vahdati et al., 2017; Zhang et al., 2021). Therefore, the number of plant species that can be used on green roofs is limited (Nagase & Dunnett, 2010; Rayner et al., 2016). Succulent plants are known to perform well in large green roof systems in hot-arid climates both in summer and winter. These plants tolerate many climatic conditions, including high temperatures experienced on the roof, high winds, drought, frost, and salinity (Vendramini et al., 2002; Dvorak & Volder, 2012; Grace et al., 2019; Di Miceli et al., 2022). Succulents are plants that adapt to extreme environmental conditions such as water shortage and high temperatures with their habitus and lifestyle. In addition to these features, the interestingness of their flowers and seeds, and the shape, texture and color of their leaves make these plants aesthetically interesting. Succulent plant species, which have the ability to grow at different altitudes from 0 to 3200 meters, have a wide distribution area in our country (Karahan & Angin, 2008; Bilgili & Karahan, 2011). For example, in a one-year study conducted in Sydney, succulent plant species were found to live without any care (Wilkinson & Feitosa, 2015; Johannessen et al., 2017). Another study found that using succulent plants on green roofs in parts of Australia could provide a low-cost, drought-tolerant, lightweight option to reduce heat gain and heat loss. (Wilkinson & Feitosa, 2015).

A study by Di Miceli et al. (2022) determined that there are more than 12,500 succulent plant species in the world. Most of these species belong to the Crassulaceae family. These plants can grow in many habitats around the world (Williams et al., 2010; Bousset et al., 2011; Monteiro et al., 2017; Zhang et al., 2018). Türkiye flora includes almost 70-80% of all succulent plants in Europe, and some of these species are ground cover or parterre plants. Succulent species, with their compact structure and fleshy, feathery or leathery leaf characteristics, have the ability to maintain their vitality with the amount of water that falls only during the rainy periods of the year (Bilgili & Karahan, 2011). Most green roof applications use succulent plant species such as *Sedum* spp. because they tolerate dry conditions (Williams et al., 2010; Bousset et al., 2011; Monteiro et al., 2017; Zhang et al., 2018). These plants are ideal species for survival in green roof systems. Because it has a shallow root system and conservative water use strategies. This means that they can withstand drought during periods of drought (Wolf & Lundholm, 2008; Vahdati et al., 2017; Zhang et al., 2018). For example, in one study, *Sedum album* could survive for more than 100 days without water, while species of *Sedum acre*, *Sedum kamtschaticum ellacombianum*, *Sedum pulchellum*, *Sedum reflexum*, and *Sedum spurium* were able to survive drought for 88 days (Rowe et al., 2012).

The phytogeographic region where the green roofs were built is important. In the Mediterranean region, for example, plants face severe water stress, often caused of rising temperatures and prolonged summer drought. Plant species commonly used in green roofs are exposed to additional stress factors when applied in the Mediterranean climate (van Mechelen et al., 2015). In temperate climates, however,

green roofs may encounter problems as many of the plants currently used come from cool temperate climates and are not adjusted to withstand long dry periods, extreme temperatures, or heavy rainfall events. Green roof design and especially vegetation selection need to be adjusted to future climatic conditions. Green roof design and especially vegetation selection need to be adjusted to future climatic conditions (Vanuytrecht et al., 2014). Today, it is necessary to increase the diversity of plant species used in green roof systems, especially by focusing on the use of natural plants (Vahdati et al., 2017). Because natural plants are more resistant to harsh environmental conditions and drought.

Türkiye was determined as the study area in this research. Türkiye has three main phytogeographical regions: Europe-Siberia, Mediterranean, and Iran-Turan (Avcı, 1993). The highest species diversity in these phytogeographic regions is followed by the Irano-Turanian region, then the Mediterranean and finally the Euro-Siberian region (Küçük & Ertürk, 2013). This is due to different topographic thresholds and climate. The objective of this study was to develop green roof models by taking into account the climate, water consumption, life form, altitude, and habitat characteristics of each phytogeographic region within the scope of future planning and design studies of succulent taxa. While determining the plant species to be used in green roofs, succulent plants naturally found in Türkiye and climate, life form, altitude, endemism, and habitats specific to the phytogeographic region where each plant is found were determined. This study is unique as it contains information that enables the development of succulent plant species suitable for future green roofs in Türkiye can set an example in the development of green roofs by using succulent plant species suitable for green roofs planned to be built in Türkiye and other similar phytogeographic regions.

General Features of the Working Area

The main material of the study is three phytogeographic regions located within the provincial borders of Türkiye: Euro-Siberian, Mediterranean and Irano-Turanian as depicted in Figure 1.

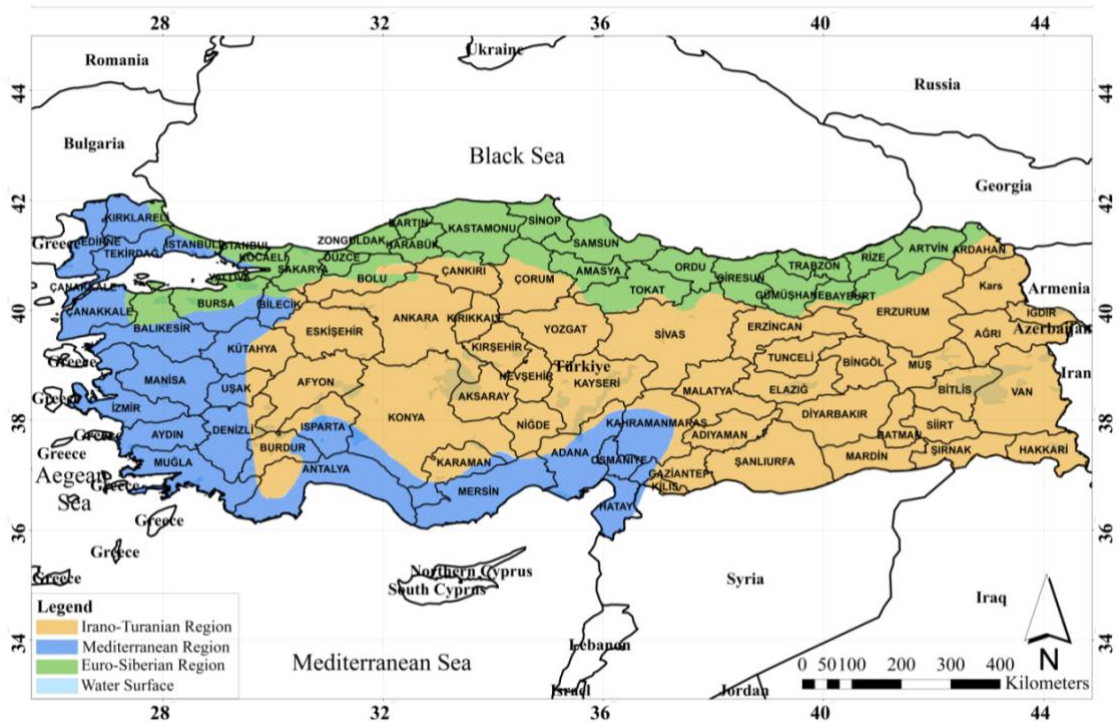


Figure 1. Distribution of provinces within the borders of the Türkiye in phytogeographical regions.

Şekil 1. Türkiye sınırları içerisindeki illerin fitocoğrafik bölgelere göre dağılımı.

Türkiye is located in the Northern Hemisphere between 36-42° north latitude and 26-45° east longitude (Aktürk & Güney, 2021). The total surface area of the study area, which includes these 3 phytogeographical regions, is 779.646 km² (Ozturk et al., 2002; Aktürk & Güney, 2021). The Irano-Turanian phytogeographic region covers most of the Central Anatolian and Eastern Anatolian plateaus and has a Hard Continental climate type (Avcı, 1993). The Mediterranean phytogeographic region, which is another phytogeographic region, covers an area of 198.165 km² as a part of the 2.5 million km² basin, and the Mediterranean climate type is observed (Avcı, 1993; Ozturk et al., 2002). Another phytogeographic region, called the Euro-Siberian region, covers a large part of the North Anatolian and Black Sea lands (Avcı, 1993; Aktürk & Güney, 2021). In the Euro-Siberian region, the temperate oceanic climate type is observed. In addition to this research, succulent taxa constitute the other material of the study.

Theoretical Framework

Data on succulent plant species are included in the 'Flora of Turkey' created by Davis between 1965 and 1985, and in the Tübives database created in 2004. Records of newly identified succulent species in recent years and the characteristics of the area where succulent species live were determined using sources such as Ozhatay & Kültür (2006), Karaer & Celep (2008), Vladimirov et al. (2008) Ozhatay et al. (2011), Güner et al. (2012), Minareci et al. (2012), Ozhatay et al. (2013), Thiede, (2017), Uludag et al. (2017), Bozyel et al. (2021), Şükran & Abamor Bahar (2022), Ozhatay et al. (2022), Karaer et al. (2010), Suehs et al. (2004), Stancu & Stancu (2003), Daşkın et al. (2006), Bilgili & Karahan (2011), Karahan et al. (2006) Karahan (2004), Karahan & Angın (2008), Karahan & Yılmaz (2001) and Uotila et al. (2012). [CSFN 2023], [KEW 2023], [JSTOR 2023], [S&S 2023], [SL 2023], [PT 2023], [OP 2023] and [IDA 2023] web pages related to the habitat, geography and climate of succulent species were obtained from natural succulent plant taxa that belongs to the flora of Turkey obtained from herbarium examinations, Observation notes were recorded taken during field studies, and photographs taken. Additionally, , herbarium examinations of succulent species, notes taken during field studies and photographs taken were taken into account during data collection.

The endemic status, life form, phytogeography, altitude, and habitats of plant species were determined from Flora of Turkey (1965-1985), Tübives (2004), and articles published for newly registered succulent species. Information not available from these sources is available in Botanical Garden records, herbariums and [CSFN, 2023], [KEW, 2023], [JSTOR, 2023], [S&S, 2023], [SL, 2023], [PT, 2023], [OP, 2023] and [IDA, 2023] websites were examined. The hairiness of the plant species was generally determined by examining web pages.

Within the scope of the literature data examined later, succulent plants in 3 different phytogeographies; family, endemism status, distribution of natural distribution areas according to altitudes, climate, hairiness, which is the symbol of drought resistance, and habitat conditions, which are signs of resistance to harsh living environment conditions, were determined. In the last stage, landscape design and planning strategies were evaluated for green roofs to be designed in 3 different phytogeographic regions. While making these evaluations, a direct evaluation was made with some of the data obtained from the literature data. However, some data were interpreted by cross-comparison with each other. The main reason for cross- comparison was to increase the diversity that emerges as a result of the interaction between the data. Thus, it will be possible to choose the right species for green roofs to be made in 3 phytogeographic regions. In this context, the growth potentials of the succulent plants examined in cool, warm regions were evaluated. It has also been identified in species that can grow in both (cool and warm) regions. After evaluating all these data, strategies for landscape design and planning were developed.

SUCCULENT PLANTS IN TÜRKİYE

Within the scope of the study, family, taxa, life form, leaf hairiness, phytogeographic region, altitude, habitats, and endemism status of 157 succulent taxa were determined (Table 1). A total of 157 taxa belonging to 5 families (Aizoaceae, Cactaceae, Crassulaceae, Portulacaceae, and Saxifragaceae) were identified. The family with the highest number of taxa in the examined families is the Crassulaceae family. This family includes 71,9% of the succulent species studied with 113 taxa. The family with the highest number of taxa following the Crassulaceae family is the Saxifragaceae family. This family includes 17,8% of the examined succulent species with 28 taxa. The least number of taxa belongs to the Cactaceae family with 1 taxon.

Table 1. Family, endemism, life form, leaf hairiness, phytogeographic region, altitude and habitat characteristics of succulent taxa naturally found in Türkiye

Çizelge 1. Türkiye'de doğal olarak bulunan sukkulent taksonların aileleri, endemizm, yaşam formu, yaprak tüylülüğü, fitocoğrafik bölge, bakım ve habitat özellikleri

No	Family	Species	Endemic	Life form				Leaf hairiness	Phyto geography			Altitude						Habitat					References*	
				Herbaceous annual	Herbaceous biennial	Herbaceous perennial	Herbaceous monocarpic		Mediterranean	Europe-Siberian	Irano-Turanian	0-500 m	500-1.000 m	1.000-1.500 m	1.500-2.000 m	2.000-2.500 m	2.500-3.000 m	3.000-> m	Rocky areas	Moist grassy areas	Wetlands (Sweet)	Seaside (Salt)		Open areas
1	Saxifragaceae	<i>Chrysosplenium alternifolium</i>				X			X			X						X	X					(7,16,19,20,21,25)
2	Saxifragaceae	<i>Chrysosplenium dubium</i>				X			X		X	X						X						(1,2,7,16,19,20,21)
3	Crassulaceae	<i>Crassula tillaea</i>	X					X	X		X								X					(1,2,7,16,19,20,21)
4	Crassulaceae	<i>Crassula vaillanti</i>				X		X			X									X				(12,13,14,16,19,20,21)
5	Crassulaceae	<i>Hylotelephium telephium</i>				X			X		X	X	X	X	X	X					X	X		(1,2,7,16,19,20,21)
6	Aizoaceae	<i>Mesembryanthemum acinaciforme</i>				X		X	X		X								X					(7,6,10,16,19,20,21,24)
7	Aizoaceae	<i>Mesembryanthemum edule</i>						X	X		X								X					(7,6,10,16,19,20,21,23)
8	Aizoaceae	<i>Mesembryanthemum nodiflorum</i>	X					X				X								X				(1,2,7,16,19,20,21)
9	Portulacaceae	<i>Montia arvensis</i>	X						X		X							X	X					(1,2,7,16,19,20,21)
10	Portulacaceae	<i>Montia fontana</i> subsp. <i>amportana</i>	X					X			X							X	X					(1,2,7,16,19,20,21)
11	Cactaceae	<i>Opuntia ficus-barbarica</i>				X		X	X		X							X						(7,16,19,20,21)
12	Crassulaceae	<i>Phedimus stellatus</i>	X					X			X							X						(1,2,7,16,19,20,21)
13	Crassulaceae	<i>Phedimus obtusifolius</i>				X		X	X	X	X	X	X	X	X			X						(1,2,7,16,19,20,21)
14	Crassulaceae	<i>Phedimus spurius</i>				X			X			X	X	X	X			X						(1,2,7,16,19,20,21)
15	Crassulaceae	<i>Phedimus stoloniferus</i>				X		X	X	X	X	X						X				X		(1,2,7,16,19,20,21)
16	Portulacaceae	<i>Portulaca edulis</i>	X					X			X										X			(7,16,19,20,21)
17	Portulacaceae	<i>Portulaca grandiflora</i>	X					X	X		X										X			(7,16,19,20,21)
18	Portulacaceae	<i>Portulaca granulata</i> <i>stellulata</i>							X		X										X			(9,16,19,20,21)
19	Portulacaceae	<i>Portulaca nitida</i>	X					X			X										X			(7,9,16,19,20,21)
20	Portulacaceae	<i>Portulaca oleracea</i>	X					X	X		X							X						(1,2,7,16,19,20,21,23)
21	Portulacaceae	<i>Portulaca papillatostellulata</i>	X						X		X										X			(7,16,19,20,21)
22	Portulacaceae	<i>Portulaca rausii</i>	X					X	X		X										X			(7,9,16,19,20,21)
23	Portulacaceae	<i>Portulaca sativa</i>				X			X	X								X						(9,16,17,19,20,21,27)

Table 1. Continued

Çizelge 1. Devamı

	Family	Species	Endemic	Life form				Leaf hairiness	Phyto geography			Altitude							Habitat					References*	
				Herbaceous annual	Herbaceous biennial	Herbaceous perennial	Herbaceous monocarpic		Mediterranean	Europe-Siberian	Irano-Turanian	0-500 m	500-1,000 m	1,000-1,500 m	1,500-2,000 m	2,000-2,500 m	2,500-3,000 m	3,000<- m	Rocky areas	Moist grassy areas	Wetlands (Sweet)	Seaside (Salt)	Open areas		Forest areas
24	Portulacaceae	<i>Portulaca trituberculata</i>		X	X				X	X	X										X			(7,9,16,19,20,21)	
25	Portulacaceae	<i>Portulaca zaffaranii</i>		X					X												X			(7,9,16,19,20,21)	
26	Crassulaceae	<i>Prometheum aizoon</i>				X		X	X	X			X	X	X	X	X							(1,2,7,16,19,20,21)	
27	Crassulaceae	<i>Prometheum chrysanthum</i>	E			X		X	X				X	X			X							(1,2,6,7,16,19,20,21)	
28	Crassulaceae	<i>Prometheum chrysanthum</i> subsp. <i>chrysanthum</i>	E			X		X	X	X			X	X	X		X							(1,2,7,16,19,20,21,26)	
29	Crassulaceae	<i>Prometheum chrysanthum</i> subsp. <i>Uludagense</i>	E			X		X		X			X	X			X				X	X		(1,2,7,16,19,20,21,26)	
30	Crassulaceae	<i>Prometheum muratdagense</i>	E			X		X	X	X			X				X							(1,2,7,16,19,20,21)	
31	Crassulaceae	<i>Prometheum pilosum</i>			X			X		X	X		X	X	X		X							(1,2,7,16,19,20,21)	
32	Crassulaceae	<i>Prometheum rechingeri</i>			X			X					X	X			X							(1,2,7,16,19,20,21)	
33	Crassulaceae	<i>Prometheum sempervivoides</i>			X			X					X	X	X	X	X							(1,2,7,16,19,20,21)	
34	Crassulaceae	<i>Prometheum serpenticum</i> var. <i>giganteum</i>	E			X		X	X				X				X							(1,2,7,16,19,20,21)	
35	Crassulaceae	<i>Prometheum serpenticum</i> var. <i>serpenticum</i>	E			X		X					X	X			X							(1,2,7,16,19,20,21)	
36	Crassulaceae	<i>Rosularia blepharophylla</i>	E			X		X		X	X						X							(1,2,7,16,19,20,21)	
37	Crassulaceae	<i>Rosularia davisii</i>	E			X				X					X		X							(1,2,7,16,19,20,21)	
38	Crassulaceae	<i>Rosularia elymaitica</i>				X				X				X			X							(1,2,7,16,19,20,21)	
39	Crassulaceae	<i>Rosularia globularifolia</i>	E			X	X	X			X	X					X							(1,2,7,16,19,20,21)	
40	Crassulaceae	<i>Rosularia haussknechtii</i>	E			X				X			X	X	X		X							(1,2,7,16,19,20,21)	
41	Crassulaceae	<i>Rosularia libanotica</i>				X		X	X	X	X	X	X	X			X							(7,16,19,20,21)	
42	Crassulaceae	<i>Rosularia paluensis</i>								X			X				X							(13,14,16,19,20,21)	
43	Crassulaceae	<i>Rosularia radiceiflora</i>				X				X		X	X	X	X		X							(7,16,19,20,21)	
44	Crassulaceae	<i>Rosularia sempervivum</i> subsp. <i>amanensis</i>	E			X			X				X				X							(1,2,7,16,19,20,21)	
45	Crassulaceae	<i>Rosularia sempervivum</i> subsp. <i>glaucophylla</i>	E			X			X				X	X	X		X							(1,2,7,16,19,20,21)	
46	Crassulaceae	<i>Rosularia sempervivum</i> subsp. <i>kurdica</i>				X		X		X			X	X	X	X	X							(1,2,7,16,19,20,21)	
47	Crassulaceae	<i>Rosularia sempervivum</i> subsp. <i>libanotica</i>				X		X	X	X			X	X	X		X							(1,2,7,16,19,20,21)	
48	Crassulaceae	<i>Rosularia sempervivum</i> subsp. <i>persica</i>				X		X	X	X			X	X	X		X							(1,2,7,16,19,20,21)	
49	Crassulaceae	<i>Rosularia sempervivum</i> subsp. <i>pesalozzae</i>				X		X	X				X	X	X		X					X		(1,2,7,16,19,20,21)	
50	Crassulaceae	<i>Rosularia sempervivum</i> subsp. <i>sempervivum</i>				X		X	X	X			X	X	X	X	X							(1,2,7,16,19,20,21)	
51	Crassulaceae	<i>Rosularia serrata</i>				X		X			X	X					X							(1,2,7,16,19,20,21)	
52	Saxifragaceae	<i>Saxifraga artvinensis meryemii</i>				X			X				X									X		(14,16,19,20,21)	
53	Saxifragaceae	<i>Saxifraga adscendens</i> subsp. <i>adscendens</i>		X					X	X			X	X	X		X							(1,2,16,19,20,21)	
54	Saxifragaceae	<i>Saxifraga artvinensis</i>	E			X			X				X				X							(1,2,6,7,16,19,20,21)	
55	Saxifragaceae	<i>Saxifraga bulbifera</i>				X		X		X							X							(7,16,19,20,21)	

Table 1. Continued

Çizelge 1. Devamı

	Family	Species	Life form				Leaf hairiness	Phyto geography			Altitude							Habitat					References*		
			Endemic	Herbaceous annual	Herbaceous biennial	Herbaceous perennial		Herbaceous monocarpic	Mediterranean	Europe-Siberian	Irano-Turanian	0-500 m	500-1,000 m	1,000-1,500 m	1,500-2,000 m	2,000-2,500 m	2,500-3,000 m	3,000+ m	Rocky areas	Moist grassy areas	Wetlands (Sweet)	Seaside (Salt)		Open areas	Forest areas
56	Saxifragaceae	<i>Saxifraga carpetana</i> subsp. <i>graeca</i>			X		X	X	X								X	X		X	X		(7,16,19,20,21)		
57	Saxifragaceae	<i>Saxifraga cymbalaria</i> var. <i>cymbalaria</i>	X				X	X	X				X					X	X				(1,2,7,16,19,20,21)		
58	Saxifragaceae	<i>Saxifraga cymbalaria</i> var. <i>huetiana</i>	X				X	X	X				X					X	X				(1,2,7,16,19,20,21)		
59	Saxifragaceae	<i>Saxifraga exarata</i> var. <i>adenophora</i>			X		X	X	X			X	X	X	X	X	X					X	(1,2,7,16,19,20,21)		
60	Saxifragaceae	<i>Saxifraga exarata</i> var. <i>exarata</i>			X		X	X	X					X	X	X	X	X					(1,2,7,16,19,20,21)		
61	Saxifragaceae	<i>Saxifraga hederacea</i> var. <i>hederacea</i>	X				X	X	X				X				X	X					(1,2,7,16,19,20,21)		
62	Saxifragaceae	<i>Saxifraga hederacea</i> var. <i>libanotica</i>	X				X	X		X	X	X					X	X					(1,2,7,16,19,20,21)		
63	Saxifragaceae	<i>Saxifraga hirculus</i>			X				X	X									X				(1,2,7,16,19,20,21)		
64	Saxifragaceae	<i>Saxifraga juniperifolia</i>			X			X						X	X	X							(1,2,7,16,19,20,21)		
65	Saxifragaceae	<i>Saxifraga kolenatiana</i>			X			X		X	X	X	X	X	X	X	X						(1,2,7,16,19,20,21)		
66	Saxifragaceae	<i>Saxifraga kotschy</i>			X			X	X			X	X	X	X	X	X						(1,2,7,16,19,20,21)		
67	Saxifragaceae	<i>Saxifraga luteoviridis</i>			X		X	X				X	X	X	X	X	X						(1,2,7,16,19,20,21)		
68	Saxifragaceae	<i>Saxifraga moschata</i>			X		X		X			X	X	X	X	X	X	X					(1,2,7,16,19,20,21)		
69	Saxifragaceae	<i>Saxifraga paniculata</i> subsp. <i>cartilaginea</i>			X			X		X	X	X	X	X	X	X	X						(1,2,7,16,19,20,21)		
70	Saxifragaceae	<i>Saxifraga paniculata</i> subsp. <i>paniculata</i>			X			X		X	X	X	X	X	X	X	X						(1,2,7,16,19,20,21)		
71	Saxifragaceae	<i>Saxifraga rotundifolia</i>			X		X		X	X	X	X	X				X					X	(1,2,7,16,19,20,21)		
72	Saxifragaceae	<i>Saxifraga sancta</i>			X			X				X					X						(1,2,7,16,19,20,21)		
73	Saxifragaceae	<i>Saxifraga sempervivum</i>			X			X					X				X						(1,2,7,16,19,20,21)		
74	Saxifragaceae	<i>Saxifraga sibirica</i> subsp. <i>sibirica</i>			X			X		X	X	X	X	X	X	X	X		X				(1,2,7,16,19,20,21)		
75	Saxifragaceae	<i>Saxifraga sibirica</i> subsp. <i>mollis</i>			X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X				(1,2,7,16,19,20,21)		
76	Saxifragaceae	<i>Saxifraga sibthorpii</i>	X				X			X	X	X	X	X			X		X				(1,2,7,16,19,20,21)		
77	Saxifragaceae	<i>Saxifraga tridactylites</i>	X				X	X	X	X	X	X	X	X			X						(1,2,7,16,19,20,21)		
78	Crassulaceae	<i>Sedum acre</i>			X			X	X		X	X	X				X						(1,2,7,16,19,20,21)		
79	Crassulaceae	<i>Sedum aetnense</i>	X				X			X	X	X	X	X			X						(1,2,7,16,19,20,21)		
80	Crassulaceae	<i>Sedum album</i>			X			X	X	X	X	X	X	X			X						(1,2,7,16,19,20,21,28)		
81	Crassulaceae	<i>Sedum alpestre</i>			X			X				X	X	X			X						(1,2,7,16,19,20,21)		
82	Crassulaceae	<i>Sedum amplexicaule</i> subsp. <i>tenuifolium</i>			X			X		X							X					X	(1,2,7,16,19,20,21)		
83	Crassulaceae	<i>Sedum annuum</i>		X					X			X	X	X	X	X	X	X					(1,2,7,16,19,20,21)		
84	Crassulaceae	<i>Sedum atratum</i>	X				X		X			X	X	X			X						(16,32)		
85	Crassulaceae	<i>Sedum assyriacum</i>	X						X		X	X	X				X						(1,2,7,16,19,20,21)		
86	Crassulaceae	<i>Sedum caespitosum</i>	X					X	X	X										X			(1,2,16,19,20,21)		
87	Crassulaceae	<i>Sedum cepaea</i>		X			X	X	X		X	X										X	(1,2,7,16,19,20,21)		

Table 1. Continued
Çizelge 1. Devamı

	Family	Species	E endemic	Life form				Leaf hairiness	Phyto geography			Altitude							Habitat					References*	
				Herbaceous annual	Herbaceous biennial	Herbaceous perennial	Herbaceous monocarpic		Mediterranean	Europe-Siberian	Irano-Turanian	0-500 m	500-1,000 m	1,000-1,500 m	1,500-2,000 m	2,000-2,500 m	2,500-3,000 m	3,000<-m	Rocky areas	Moist grassy areas	Wetlands (Sweet)	Seaside (Salt)	Open areas		Forest areas
88	Crassulaceae	<i>Sedum confertiflorum</i>		X				X	X	X	X	X	X	X		X									(1,2,7,16,19,20,21,28)
89	Crassulaceae	<i>Sedum dasyphyllum</i>				X		X	X			X				X									(1,2,7,16,19,20,21)
90	Crassulaceae	<i>Sedum eriocarpum</i> subsp. <i>caricum</i>	E	X				X			X	X				X									(1,2,7,16,19,20,21)
91	Crassulaceae	<i>Sedum eriocarpum</i> subsp. <i>orientale</i>		X				X			X	X				X									(2,7,16,19,20,21)
92	Crassulaceae	<i>Sedum ermenekensis</i>								X			X			X						X			(3,16,19,20,21)
93	Crassulaceae	<i>Sedum euxinum</i>	E			X			X			X	X	X		X									(1,2,7,16,19,20,21)
94	Crassulaceae	<i>Sedum gracile</i>				X			X			X	X	X	X	X									(1,2,7,16,19,20,21)
95	Crassulaceae	<i>Sedum grisebachii</i> var. <i>grisebachii</i>				X			X		X	X										X			(1,2,7,16,19,20,21)
96	Crassulaceae	<i>Sedum hispanicum</i> var. <i>semi glabrum</i>				X			X			X	X	X		X									(1,2,16,19,20,21)
97	Crassulaceae	<i>Sedum hispanicum</i> var. <i>hispanicum</i>				X			X		X	X	X	X		X									(1,2,7,16,19,20,21,29)
98	Crassulaceae	<i>Sedum hispanicum</i> var. <i>planifolium</i>	E			X			X			X	X			X									(1,2,16,19,20,21)
99	Crassulaceae	<i>Sedum ince</i>	E	X					X			X	X			X									(1,2,7,16,19,20,21)
100	Crassulaceae	<i>Sedum inconspicuum</i>	E	X					X					X		X									(1,2,7,16,19,20,21)
101	Crassulaceae	<i>Sedum koyuncui</i>						X				X										X			(9,16,19,20,21)
102	Crassulaceae	<i>Sedum litoreum</i> var. <i>creticum</i>		X				X			X					X									(1,2,16,19,20,21,29)
103	Crassulaceae	<i>Sedum litoreum</i> var. <i>litoreum</i>		X				X			X					X									(1,2,7,16,19,20,21,29)
104	Crassulaceae	<i>Sedum lydium</i>	E			X		X	X		X	X	X				X								(1,2,7,16,19,20,21,28)
105	Crassulaceae	<i>Sedum magellense</i>				X		X	X	X		X	X			X									(1,2,7,16,19,20,21,29)
106	Crassulaceae	<i>Sedum microcarpum</i>		X					X		X					X									(1,2,7,16,19,20,21,29)
107	Crassulaceae	<i>Sedum nanum</i>		X					X		X	X	X	X			X	X							(1,2,7,16,19,20,21,29)
108	Crassulaceae	<i>Sedum ochroleucum</i> subsp. <i>ochroleucum</i>				X			X		X	X				X									(1,2,7,16,19,20,21)
109	Crassulaceae	<i>Sedum optusifolium</i>				X		X	X	X	X	X	X	X		X									(28,29)
110	Crassulaceae	<i>Sedum pallidum</i> var. <i>bitynicum</i>				X			X		X	X	X			X						X			(1,2,7,16,19,20,21,29)
111	Crassulaceae	<i>Sedum pallidum</i> var. <i>pallidum</i>				X			X		X	X	X			X						X			(1,2,7,16,19,20,21,29)
112	Crassulaceae	<i>Sedum pilosum</i>				X			X		X	X	X			X									(28,29)
113	Crassulaceae	<i>Sedum rubens</i>				X		X	X	X	X	X	X			X						X			(1,2,7,16,19,20,21,29)
114	Crassulaceae	<i>Sedum samium</i> subsp. <i>micranthum</i>	E	X				X			X	X				X						X			(1,2,7,16,19,20,21)
115	Crassulaceae	<i>Sedum samium</i> subsp. <i>samium</i>		X				X			X	X				X	X								(1,2,7,16,19,20,21)
116	Crassulaceae	<i>Sedum sediforme</i>				X		X	X		X	X				X									(1,2,7,16,19,20,21,28,29)
117	Crassulaceae	<i>Sedum sempervivoides</i>				X			X		X	X	X	X		X									(28,29,31)
118	Crassulaceae	<i>Sedum steudelii</i>		X				X	X	X	X	X	X			X									(1,2,7,16,19,20,21,29)
119	Crassulaceae	<i>Sedum stellatum</i>				X		X			X	X				X									(28,29)

Selection of succulent species to be used in green roofs according to phytogeographic regions: Türkiye example

Table 1. Continued

Çizelge 1. Devamı

No	Family	Species	Endemic	Life form				Leaf hairiness	Phyto geography			Altitude						Habitat					References*												
				Herbaceous annual	Herbaceous biennial	Herbaceous perennial	Herbaceous monocot		Mediterranean	Europe-Siberian	Irano-Turanian	0-500 m	500-1,000 m	1,000-1,500 m	1,500-2,000 m	2,000-2,500 m	2,500-3,000 m	3,000+ m	Rocky areas	Moist grassy areas	Wetlands (Sweet)	Seaside (Salt)		Open areas	Forest areas										
120	Crassulaceae	<i>Sedum stoloniferum</i>			X		X		X	X		X	X						X													(28,29)			
121	Crassulaceae	<i>Sedum subulatum</i>			X				X	X		X	X	X	X	X	X															(1,2,7,16,19,20,21,29)			
122	Crassulaceae	<i>Sedum spurium</i>			X				X			X	X	X	X	X	X															(28,29,31,32)			
123	Crassulaceae	<i>Sedum telephium</i>			X				X	X			X	X	X		X									X						(28,29,31)			
124	Crassulaceae	<i>Sedum tenellum</i>			X			X	X	X			X	X	X	X	X	X															(1,2,7,16,19,20,21)		
125	Crassulaceae	<i>Sedum ursi</i>	E		X			X				X	X	X	X	X	X																(1,2,7,16,19,20,21)		
126	Crassulaceae	<i>Sedum urvillei</i>			X			X	X	X	X	X	X				X																	(1,2,7,16,18,19,20,21,29)	
127	Crassulaceae	<i>Sempervivum armenum</i> var. <i>armenum</i>	E		X		X		X	X			X	X	X	X	X																	(1,2,7,16,18,19,20,21,30)	
128	Crassulaceae	<i>Sempervivum armenum</i> var. <i>insigne</i>	E		X		X		X	X			X	X	X	X	X																	(1,2,7,16,18,19,20,21,30)	
129	Crassulaceae	<i>Sempervivum artvinense</i>			X		X		X				X				X																	(1,2,7,16,19,20,21,30)	
130	Crassulaceae	<i>Sempervivum brevifolium</i>	E		X		X			X			X				X																	(1,2,7,16,18,19,20,21,30)	
131	Crassulaceae	<i>Sempervivum davisii</i>			X		X		X	X		X	X	X	X		X																	(1,2,7,16,18,19,20,21,30)	
132	Crassulaceae	<i>Sempervivum ekimii</i>	E		X		X		X			X	X	X	X	X	X																	(4,6,7,16,18,19,20,21)	
133	Crassulaceae	<i>Sempervivum feigeanum</i>	E				X		X		X	X					X																	(7,16,18,19,20,21)	
134	Crassulaceae	<i>Sempervivum furseorum</i>	E		X		X		X			X	X				X																	(1,2,16,18,19,20,21,30)	
135	Crassulaceae	<i>Sempervivum gillanii</i>	E		X		X		X			X	X	X			X																		(1,2,7,16,18,19,20,21,30)
136	Crassulaceae	<i>Sempervivum glabrifolium</i>	E		X		X		X		X	X					X																		(1,2,7,16,18,19,20,21,30)
137	Crassulaceae	<i>Sempervivum glabrifolium</i> subsp. <i>glabrifolium</i>	E				X			X							X	X																	(7,16,18,19,20,21,30)
138	Crassulaceae	<i>Sempervivum globiferum</i> subsp. <i>aghricum</i>	E		X		X			X						X		X																	(1,2,7,16,19,20,21,30)
139	Crassulaceae	<i>Sempervivum herfriedianum</i>	E				X		X		X	X	X	X			X																		(7,16,19,20,21)
140	Crassulaceae	<i>Sempervivum ispartae</i>	E		X		X	X				X					X																		(1,2,7,16,18,19,20,21,30)
141	Crassulaceae	<i>Sempervivum minus</i>	E	X			X		X		X	X	X	X	X	X	X																		(7,15,16,18,19,20,21)
142	Crassulaceae	<i>Sempervivum minus</i> var. <i>glabrum</i>	E		X		X		X			X	X	X			X																		(1,2,7,16,19,20,21,30)
143	Crassulaceae	<i>Sempervivum minus</i> var. <i>minus</i>	E		X		X		X			X	X	X			X																		(1,2,7,16,19,20,21,30)
144	Crassulaceae	<i>Sempervivum montanum</i>			X		X		X			X	X	X			X																		(32,33)
145	Crassulaceae	<i>Sempervivum pistidicum</i>	E		X			X				X	X	X			X																		(1,2,7,16,18,19,20,21,30)
146	Crassulaceae	<i>Sempervivum sosnowskij</i>			X		X		X				X				X																		(6,7,9,16,18,19,20,21,22)
147	Crassulaceae	<i>Sempervivum staintonii</i>	E		X		X		X			X					X																		(1,2,7,16,18,19,20,21,30)
148	Crassulaceae	<i>Sempervivum transcaucasicum</i>			X		X		X							X		X																	(1,2,7,10,16,18,19,20,21)
149	Crassulaceae	<i>Umbilicus chloranthus</i>			X			X			X						X																		(1,2,7,16,18,19,20,21)
150	Crassulaceae	<i>Umbilicus erectus</i>			X			X	X	X		X	X	X	X		X																		(1,2,7,16,19,20,21)
151	Crassulaceae	<i>Umbilicus horizontalis</i> var. <i>horizontalis</i>			X			X			X	X					X										X								(1,2,7,16,19,20,21)

Table 1. Continued
Çizelge 1. Devamı

	Family	Species	Endemic				Life form	Leaf hairiness			Phyto geography							Altitude							Habitat					References*			
			Herbaceous annual	Herbaceous biennial	Herbaceous perennial	Herbaceous monocarpic		Mediterranean	Euro-Siberian	Irano-Turanian	0-500 m	500-1,000 m	1,000-1,500 m	1,500-2,000 m	2,000-2,500 m	2,500-3,000 m	3,000<- m	Rocky areas	Moist grassy areas	Wetlands (Sweet)	Seaside (Salt)	Open areas	Forest areas										
152	Crassulaceae	<i>Umbilicus horizontalis</i> var. <i>intermedius</i>			X			X			X	X					X																(1,2,7,16,19,20,21)
153	Crassulaceae	<i>Umbilicus intermedius</i>			X			X		X	X						X	X														(7,16,18,19,20,21)	
154	Crassulaceae	<i>Umbilicus luteus</i>		X				X	X	X	X	X	X				X															(1,2,7,16,19,20,21)	
155	Crassulaceae	<i>Umbilicus parviflorus</i>			X			X			X						X															(1,2,7,16,18,19,20,21)	
156	Crassulaceae	<i>Umbilicus rupestris</i>			X			X	X		X	X					X															(1,2,7,16,18,19,20,21)	
157	Crassulaceae	<i>Umbilicus tropaeolifolius</i>			X			X	X		X	X					X															(1,2,7,16,18,19,20,21)	

* 1= Davis, 1965-85; 2=TUBİVES, 2004; 3= Ozhatay & Kültür, 2006; 4= Karaer & Celep, 2008; 5= Vladimirov et al., 2008; 6= Ozhatay et al., 2011; 7= Güner et al., 2012; 8= Minareci et al., 2012; 9= Ozhatay et al., 2013; 10= Thiede, 2017; 11= Uludag et al., 2017; 12= Bozyel et al., 2021; 13= Şükran & Abamor Bahar, 2022; 14= Ozhatay et al., 2022; 15= [CSFN, 2023]; 16= [KEW, 2023]; 17= [JSTOR, 2023]; 18= [S&S, 2023]; 19= [SL, 2023]; 20= [PT, 2023]; 21= [OP, 2023]; 22= Karaer et al., 2010; 23= [IDA, 2023]; 24= Suehs et al., 2004; 25= Stancu & Stancu, 2003; 26= Daşkın et al., 2006; 27= Uotila et al., 2012; 28= Bilgili & Karahan, 2011; 29= Karahan et al., 2006; 30= Karahan, 2004; Karahan & Angin, 2008; 31= Karahan & Yılmaz, 2001; 32 Wagner & Larcher, 1981.

The succulent species examined within the scope of the study are 94 herbaceous perennials, 36 are herbaceous annuals, 6 are herbaceous biennials and 5 have monocarpic (Table 1) life forms. Within the scope of the study, 157 succulent taxa were identified in 3 phytogeographic regions in Türkiye. Of these taxa, 97 belong to the Euro-Siberian, 73 to the Mediterranean, and 63 to the Iranian Turanian phytogeography (Table 1). The largest number of taxa was found to be in the Euro-Siberian phytogeography. Besides, some taxa can be found in more than one phytogeographic region. For example, there are 39 taxa in the Mediterranean and Euro-Siberian phytogeography, 33 taxa in the Euro-Siberian and Iranian Turanian phytogeography, 25 taxa in the Mediterranean and Iran Turanian phytogeography, and 21 taxa in three phytogeography.

Among the phytogeographic regions examined within the scope of the study, in the Mediterranean: the Mediterranean climate, in European Siberia: A temperate oceanic climate and in Iran Turan phytogeographical region: The hard Continental climate type is observed. Most of the succulent taxa examined in the study area are located in the Alpine Belt (2000m <). However, there are many taxa that can grow at sea level. Leaf hairiness is a defense mechanism developed by plants to reduce water loss by transpiration and is considered a sign of drought resistance. While the leaves of 45 taxa are hairy, the leaves of 112 taxa are hairless. Habitat research was conducted for 157 taxa examined. The 123 succulent taxa studied can live in rocky areas (Table 1) and in very shallow soils. These taxa are the most advantageous taxa for use in roof gardens. After the rocky areas, the most taxa are moist grassy areas (20 taxa), forest areas (19 taxa), wetlands (13 taxa), and open areas (12 taxa). The habitat with the least number of taxa is the seaside (5 taxa). Taxa distributed by the sea are the most suitable species for use in dune areas. In addition, these taxa are highly resistant to high salt and drought.

Besides, some species can live simultaneously in different habitats. Within the scope of the study, 13 taxa can grow in rocky areas and forest areas, and 8 taxa can grow in rocky areas and moist grassy areas (Table 1). In addition, *Saxifraga carpetana* subsp. *graeca* species is the only taxon that can grow in rocky areas, moist grassy areas, seashores, and open areas. Finally, the endemism status of the examined succulent taxa was determined. 38 of the 157 succulent taxa identified are endemic. Of endemic taxa; 17 of them *Sempervivum* spp. genera, 8 of them *Sedum* spp. genera, 1 of them *Saxifraga* spp. genera, 6 of

them *Rosularia* spp. genera and 6 of them *Prometheum* spp. belongs to the genera (Table 1). The genera with the highest endemism rate are *Sempervivum* spp.

Succulent Plants for cool Climates in Türkiye

Among the succulents examined within the scope of the study, 97 taxa were identified that can grow in cool (Temperate-Ocean) climates. As seen from Table 1, the most succulent taxa in Türkiye are grown in the cool climate zone. The 26 examined *Saxifraga* spp. among 23 taxa, 23 *Sempervivum* spp. among 17 taxa, 49 *Sedum* spp. among 26 taxa, 10 *Prometheum* spp. among 5 taxa, 9 *Umbilicus* spp. among 4 taxa and 16 *Rosularia* spp. 3 taxa grow in cool climates. Based on these data, *Saxifraga* spp. and *Sempervivum* spp. genera grow better in cold climates when *Rosularia* spp. can be assumed that the genera do not develop well in cool climates under Turkish conditions. *Saxifraga* spp. the genera 21 of 26 taxa can grow in rocky and shallow soils and 18 taxa develop at altitudes above 2000 m. This information means that *Saxifraga* spp. can potentially be used in green roof applications in cool areas. Among the examined taxa, only the *Saxifraga artvinensis* taxon is endemic among the *Saxifraga* spp. genera which are common in Türkiye. Hairiness is generally an adaptation developed by plant species adapted to warm climates (Moles et al., 2020). However, Little et al. (2016), it has been determined that hairiness provides protection to the plant not only in arid climates but also in cool climates. When the genera *Saxifraga* spp. was examined, it was determined that only 8 taxa were hairy among 26 taxa. In line with this information, it can be stated that the use of *Saxifraga* spp. is more appropriate for green roofs to be designed in cool climates in Türkiye.

Another cool climate succulent plant genera is *Sempervivum* ssp. *Sempervivum* genera is the member of Crassulaceae family and native for Europe and Asia continents. This genus exist both arid regions (Karahan, 2004). The genera *Sempervivum* spp, it is seen that all 22 taxa grow in rocky and shallow soils. When the altitude values are examined, 11 of 22 taxa show growth at an altitude above 2000 m. In addition, *Sempervivum* spp is highly resistant to temperature extremes, strong sun exposure, and drought. *Sempervivum* spp. is a preferred genus in green roof and xeriscape landscaping applications (Carey et al., 2009; Karahan, 2004). It is known that the soil requirements of the genera *Sempervivum* spp. are also very low (Zaharia, 2012). Monteiro et al. (2017), it was determined that the most frequently used plants on green roofs, *Sedum* spp., had better environmental cooling and substrate insulation potential than *Sempervivum* spp. The most striking feature of the genera *Sempervivum* ssp. is its endemism. Of the 22 taxa examined, 17 are endemic. This corresponds to an endemism rate of 77,2%. It has already been mentioned that hairiness is an adaptation developed by plant species that have adapted to both hot and cold climates. However, according to a study by Wang et al. (2022), hairy leaves are seen in drier climates, while hairless leaves are seen in more humid climates. When the genera *Sempervivum* spp. was examined, it was seen that only *Sempervivum pisidicum* taxa were not hairy out of 22 taxa. In addition, when the hairiness, phytogeography, altitude, and habitat areas were compared diagonally, it was determined that all 10 *Sempervivum* spp. genera were hairy, growing in cold climates, growing at altitudes above 2000 m, and all of them growing in rocky areas. In line with this information, studies on *Sempervivum* spp. species, which has a very high endemism rate, should be increased and its ability to grow in other climates should be examined in more detail. In addition, its use on green roof should be expanded.

Succulent Plants for warm Climates in Türkiye

Among the examined succulents, 72 taxa that can grow in warm (Mediterranean) climates were determined. In the Mediterranean phytogeography, 21 taxa among 49 *Sedum* spp., 6 taxa among 10 *Prometheum* spp., 11 taxa among 26 *Saxifraga* spp. and 9 taxa among 16 *Rosularia* spp. were found to grow in warm climates. In addition, *Umbilicus* spp. (9 taxa), *Mesembryanthemum* spp. (3 taxa) and *Crassula* spp. (2 taxa) were all grown in warm climates. Based on these data, it can be assumed that *Umbilicus* spp, *Mesembryanthemum* spp and *Crassula* spp grow better in warm climates. In addition, the genera *Rosularia* spp. is a genus adapted to warm climates. The genera *Umbilicus* spp. all of the 9 taxa

are in rocky and shallow soils, and all grow at altitudes below 1,000 m. Succulent species are generally plants adapted to shallow soils (Kirschner et al., 2021). Our country is among the water-poor countries in terms of water. In water-rich countries, more than 10,000 m³ of water per person per year falls, while this amount is only 1,450 m³ in Türkiye (Ismaeil & Sobaih 2022; Altay & Uslu 2022). In this context, also succulent taxa to be used especially in shallow and deep soils should be preferred in green roof and xeriscape landscape applications. According to the study by Takesh et al. (2019), the taxon *Umbilicus intermedius* is generally distributed worldwide, but it is more common in South Africa, the deserts of Israel, and Lebanon the mountains of Jordan and Saudi Arabia and in arid regions of Iran such as Ilam has been detected. In addition, no endemic taxa could be found among *Umbilicus* spp. When the hairiness status was examined, no hairiness was found in *Umbilicus* spp. Considering that *Umbilicus* spp. grows in rocky and shallow soils, generally develops at low altitudes, and adapts to warm climates, it can be said that it has a high potential to be used in extensive green roof to be designed in Türkiye. Another warm climate succulent genera is *Rosularia* spp. All 16 *Rosularia* spp. genera can grow in rocky and shallow soils and 9 out of 16 taxa thrive at altitudes below 1,000 m. In the examinations, it was determined that 6 of the *Rosularia* spp. genera were endemic. In addition, when the hairiness of *Rosularia* spp. genera were examined, it was determined that only 5 taxa were hairy. Considering all this information, *Rosularia* spp. is a genus that has the potential to be used in applications made on shallow soils such as green roofs. It can also be preferred in xeriscape landscaping applications. By using *Umbilicus* spp. and *Rosularia* spp. species naturally found in Türkiye, the amount of water consumption can be reduced, maintenance costs can be reduced, and it can be ensured that the taxa used are less affected by the environmental climatic conditions.

Succulent Plants for warm and cool climates in Türkiye

Within the scope of the study, the Irano-Turanian phytogeographic region (hard continental climate) reflects both warm and cool climate characteristics. Among the detected taxa, there are 63 taxa that can grow in harsh continental climates. Among the examined taxa, 11 taxa among 16 *Rosularia* spp., 10 taxa among 26 *Saxifraga* spp., and 25 taxa among 49 *Sedum* spp. were found to grow in both warm and cool climates. As a result of examination at these data, it was determined that *Rosularia* spp. and *Sedum* spp. genera show better growth in both warm and cool climates. *Sedum* spp. genera is a species that can adapt to both arid and cool conditions in Türkiye. Many taxa perform well against winter frosts, including *Sedum album*, *Sedum acre*, *Sedum reflexum* and *Sedum spurium* used on green roofs (Farrell et al., 2012). In a study by Klein and Coffman, (2015), it was found that in temperate climates, *Sedum* spp. outperforms North American naturally grown plant species in shallow roof soils. However, in a study conducted by Klein and Coffman (2015), it was mentioned that *Sedum* spp. genera should be used with caution when designing green roofs as they do not perform well in warm climates. The genera *Sedum* spp., 24 out of 49 taxa can grow in rocky and shallow soils. In a study by Dvorak & Volder (2010), the effect of soil depth on *Sedum* spp. species was evaluated. As a result of the study, it was seen that the *Sedum sarmentosum* species had the highest coverage among all soil depths. In addition, *Sedum floriferum*, *Sedum stefco* and *Sedum spurium* species were determined to be much more effective at 7 cm depth than 4 cm depth in terms of soil depth. Although the *Sedum* spp. genera has proven successful on shallow wide green roofs in many ecoregions, there is also confusion in some ecoregions. It has been observed in studies that *Sedum* spp. is exposed to root damage due to freezing (Chell et al., 2022). *Sedum* spp. species are rosette-shaped plants that spread irregularly. *Sedum* spp. genus is found not only in arid but also in semi-arid, tropical, subtropical and cool climate regions (Dvorak & Volder 2010; Demircan et al., 2006). In the study conducted by Karahan & Yılmaz (2001), they determined the use of some succulent species such as *Euphorbia* ssp, *Sedum* ssp, and *Sempervivum* ssp, which are resistant to the ecological conditions of the Central Anatolia Region. When the altitude values of the genera *Sedum* spp. were examined, it was determined that there were 14 taxa below 1,000 m, and 16 taxa developed at an altitude above 2000 m. Only 8 taxa are endemic among the most common *Sedum* spp species among

succulent species in our country. When the hairiness status of *Sedum* spp. genera in Türkiye was examined, and no hairiness was found in the taxa. In line with this information, for green roofs to be designed in Türkiye, *Sedum* spp. is a versatile breed that can be used in extensive green roofs to be designed in both cool and warm climates.

Limitations of the Study

This study was conducted to determine the succulents that can be used in green roof in Türkiye, which has 3 phytogeographic regions and was determined as the study area, there are some limitations. For example, there have been difficulties in accessing herbariums for altitude, habitat, hairiness, and endemism detection. At this point, the web pages or checklists of the relevant universities were examined. To determine hairiness, the pictures on the herbarium and internet addresses were looked at. In addition, when examining the hairiness, only leaf hairiness was examined. In future studies, the hairiness of the plant on the stem and shoot should also be examined. The most important limitation of the study is that the subjects such as soil and water consumption could not be reached.

CONCLUSION

Within the scope of the study, family, endemism, life form, hairiness, phytogeography/climate, altitude, and habitats of 157 succulent taxa were determined. Then, using this information, the suitability of the plants for green roofs in cool climates, warm climates or both climates, and suitability was evaluated according to phytogeographic regions. In addition, habitat and hairiness conditions can help us to obtain information about the climate, soil, and water consumption of the habitat where the plants live. Altitude helps the climatic characteristics of the area where the plants live. When the results of the study were examined, it was determined that the use of 97 succulent taxa for cool climate regions was appropriate and among these taxa, *Saxifraga* spp. and *Sempervivum* spp. were found to be dense. In warm climate regions, *Umbilicus* spp. and *Rosularia* spp. genera were found to be dense among 72 succulent taxa. In addition, these taxa are genera that can be used in xeriscape landscape applications. As a result of the study, 63 taxa that can grow in both climatic regions were determined. Among these taxa, *Rosularia* spp. and *Sedum* spp. genera were found to be dense. In addition to helping with the correct planning and design studies for green roofs according to the climate, this study will contribute to the reduction of water consumption with natural succulent plant species that can be used in xeriscape landscapes in an important issue such as the water crisis, which has been on the agenda in recent years. Before green roof planning and design studies are carried out in Türkiye, succulent species should be selected according to the climate of the phytogeographic region. There is also a need for a working process with the university, relevant ministries, local governments, experts, and other stakeholders. Thanks to these arrangements, a green roof arrangement can be realized in terms of water, energy, and climate.

Data Availability

Data will be made available upon reasonable request.

Author Contributions*

Conception and design of the study: OA; sample collection: KE; analysis and interpretation of data: OA; visualization: OA; writing manuscript: OA, KE.

Conflict of Interest

There is no conflict of interest between the authors in this study.

Ethical Statement

We declare that there is no need for an ethics committee for this research.

Financial Support

No financial support was received for this study.

Article Description

This article was edited by Section Editor Assoc. Prof. Dr. İpek ALTUĞ TURAN.

REFERENCES

- Aktürk, E. & K. Güney, 2021. Vegetation Cover Change Analysis of Phytogeographic Regions of Turkey Based on CORINE Land Cover Datasets from 1990 to 2018. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 21 (2): 150-164. <https://doi.org/10.17475/kastorman.1000406>
- Altay, B. & A. O. Uslu, 2022. A Pioneering Approach In Urban Landscape Design Against Global Climate/Environmental Problems In The Cities Of The Future; Xeriscape. *Proceeding Book*, 171 pp.
- Avcı, M., 1993. A geographical approach to Turkey's flora regions and the "Anatolian Diagonal". *Turkish Journal of Geography*. (28): 225-248.
- Bilgili, B. C. & F. Karahan, 2011. The effects of global climate change on landscape design: tend to succulent plant species. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(1): 31-42.
- Bousselot, J. M., J. E. Klett & R. D. Koski, 2011. Moisture content of extensive green roof substrate and growth response of 15 temperate plant species during dry down. *HortScience*, 46 (3): 518-522. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.3.518>
- Bozyel, D., N. B. Pelt & S. G. Şenol, 2021. A new record from the mediterranean temporary wetland habitats, for Flora of Turkey: *Crassula vaillantii*. *Biodiversity and Conservation*, 14 (3): 359-364. DOI: 10.46309/biodicon.2021.763528
- Carey, D., B. Whipker, I. McCall & W. Buhler, 2009. "Benzyladenine foliar sprays increase offsets in *Sempervivum* and *Echeveria*, 19-21". In: *Proceedings of the 36th Annual Meeting of the Plant Growth Regulation Society of America*, Asheville, North Carolina, USA, (2-6 August 2009), Plant Growth Regulation Society of America, 53 pp.
- Chell, S., N. Tomson, T. D. H. Kim & R. N. Michael, 2022. Performance of native succulents, forbs, and grasses on an extensive green roof over four years in subtropical Australia. *Urban Forestry & Urban Greening*, 74: 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127631>
- CSFN, 2023. Cactus and Succulent Field Number. (Web page: <https://www.cl-cactus.com/>) (Date accessed: February 2023).
- Daşkın, R., O. Yılmaz & G. Kaynak, 2009. *Prometheum chrysanthum* subsp. *uludaghense* (Crassulaceae), a new taxon from Turkey. In *Annales Botanici Fennici*, 46 (5): 456-458.
- Davis, P. H., 1965-1985. *Flora of Turkey and the East Aegean Islands* 1-9. 1965 (1), 1967 (2), 1970 (3). 1972 (4), 1975 (5), 1978 (6), 1982 (7), 1984 (8), 1985 (9), 1988 (Supplement). Edinburgh University Press, Edinburgh, UK, 5815 pp.
- Demircan, N., I. Öz, R. Stephenson & F. Karahan, 2006. "Ekoturizm ve botanik turizmi: Türkiye'nin sukkulent bitki çeşitliliğinin turizm potansiyeli, 26-28". In: *GAP V. Mühendislik Kongresi*. Şanlıurfa, Türkiye, 26-28 June 2006, 880 pp.
- Di Miceli, G., N. Lacuzzi, M. Licata, S. La Bella, T. Tuttolomondo & S. Aprile, 2022. Growth and development of succulent mixtures for extensive green roofs in a Mediterranean climate. *PlosOne*, 17 (6): 1-19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269446>
- Dvorak, B. & A. Volder, 2010. Green roof vegetation for North American ecoregions: a literature review. *Landscape and Urban Planning*, 96 (4): 197-213. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.04.009>
- Dvorak, B. D. & A. Volder, 2012. Plant establishment on unirrigated green roof modules in a subtropical climate. *Aob Plants*, 5: 1-10. <https://doi.org/10.1093/aobpla/pls049>

- Erzurumlu, G. S., 2021. Evaluation of the sufficiency of urban green spaces: Nigde city example. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 58 (2): 181-192. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.740080>
- Fernandez-Cañero, R., T. Emilsson, C. Fernandez-Barba & M. Á. H. Machuca, 2013. Green roof systems: A study of public attitudes and preferences in southern Spain. Journal of Environmental Management, 128: 106-115. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.04.052>
- Farrell, C., R. E. Mitchell, C. Szota, J. P. Rayner & N. S. G. Williams, 2012. Green roofs for hot and dry climates: Interacting effects of plant water use, succulence and substrate. Ecological Engineering, 49: 270-276. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.08.036>
- Grace, O. M., 2019. Succulent plant diversity as natural capital. Plants, People, Planet, 1 (4): 336-345. DOI: 10.1002/ppp3.25
- Güner, A., S. Aslan, T. Ekim, M. Vural & M.T. Babaç, 2012. [Turkey plant list (Vascular plants)]. Nezahat Gökyiğit Botanical Garden and Flora Research Association, 7 pp.
- IDA, 2023. Izmir Development Agency. (Web page: <https://izka.org.tr/wp-content/uploads/2022/02/Izmirin-Kadim-Uretim-Havzaları.pdf>) (Date accessed: Feb 2023).
- Ismail, E. M. & A. E. E. Sobaih, 2022. Assessing xeriscaping as a retrofit sustainable water consumption approach for a desert university campus. Water, 14 (11): 1-30. <https://doi.org/10.3390/w14111681>
- Jim, C.Y., 2014. Heat-sink effect and indoor warming imposed by tropical extensive green roof. Ecological Engineering, 62: 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.10.022>
- Johannessen, B. G., H. M. Hanslin & T. M. Muthanna, 2017. Green roof performance potential in cold and wet regions. Ecological Engineering, 106: 436-447. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.06.011>
- JSTOR, 2023. Global Plants. (Web page: <https://plants.jstor.org/>) (Date accessed: Feb 2023).
- Karahan, F., I. Öz, N. Demircan & R. Stephenson, 2006. Succulent Plant Diversity in Turkey I. Stonecrops (Crassulaceae). Haseltonia, 2006 (12): 41-54.
- Karahan, F., 2004. Succulent plant Diversity of Turkey: the case study of *Sempervivum* genus. Pakistan Journal Biological Sciences 7 (6): 977-980.
- Karahan, F. & İ. Angın, 2008. Yeşil alan uygulamalarında su tüketiminin asgariye indirilmesi için sukkulent bitki türlerinden yararlanma. TMMOB, 2: 291-296.
- Karahan, F. & H. Yılmaz, 2001. Determination of some alpine plants suitable for landscape planning in Erzurum and surroundings. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 25 (4): 225-233.
- Karaer, F. & F. Celep, 2008. *Sempervivum ekimii* nom. et stat. nov. for *S. minus* var. *glabrum* (Crassulaceae), with an amplified description. In: Annales Botanici Fennici, Finnish Zoological and Botanical Publishing Board, 229-232 pp.
- Karaer, F., F. Celep & G. Kutbay, 2010. Morphological, ecological and palynological studies on *Sempervivum sosnowskyi* Ter-Chatsch. (Crassulaceae) with a new distribution record from Turkey. Australian Journal of Crop Science, 4 (4): 247-251.
- KEW, 2023. Royal Botanic Garden, Plants of the World Online. (Web page: <https://plants.jstor.org/>) (Date accessed: Feb 2023).
- Kirschner, G. K., T. T. Xiao & I. Blilou, 2021. Rooting in the desert: A developmental overview on desert plants. Genes, 12 (5): 1-12. <https://doi.org/10.3390/genes12050709>
- Klein, P. M. & R. Coffman, 2015. Establishment and performance of an experimental green roof under extreme climatic conditions. Science of the Total Environment, 512: 82-93. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.020>
- Küçük, M. & E. Ertürk, 2013. Biodiversity and protected areas in Turkey. Sains Malaysiana, 42 (10): 1455-1460.
- Little, L., P. M. Eidesen, E. Müller, K. J. Dickinson & J. M. Lord, 2016. Leaf and floral heating in cold climates: do sub-Antarctic megaherbs resemble tropical alpine giants? Polar Research, 35 (1): 1-11. <https://doi.org/10.3402/polar.v35.26030>
- Minareci, E., K. Yıldız, S. Gücel & M. Kuh, 2012. *Rosularia globulariifolia* var. *pallidiflora* comb. et stat. nov. (Crassulaceae). Nordic Journal of Botany, 30 (5): 526-532. <https://doi.org/10.1111/j.1756-1051.2011.01359.x>

- Monteiro, M. V., T. Blanuša, A. Verhoef, M. Richardson, P. Hadley & R. W. F. Cameron, 2017. Functional green roofs: Importance of plant choice in maximising summertime environmental cooling and substrate insulation potential. *Energy and Buildings*, 141: 56-68. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.011>
- Moles, A. T., S. W. Laffan, M. Keighery, R. L. Dalrymple, M. L. Tindall & S. C. Chen, 2020. A hairy situation: Plant species in warm, sunny places are more likely to have pubescent leaves. *Journal of Biogeography*, 47 (9): 1934-1944. DOI: 10.1111/jbi.13870
- Nagase, A. & N. Dunnett, 2010. Drought tolerance in different vegetation types for extensive green roofs: effects of watering and diversity. *Landscape and Urban Planning*, 97 (4): 318-327. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.07.005>
- OP, 2023. Our Plants, Plants of Turkey. (Web page: <https://www.bizimbitkiler.org.tr/>) (Date accessed: Feb 2023).
- Ozhatay, N. & Ş. Kültür, 2006. Check-list of additional taxa to the Supplement Flora of Turkey III. *Turkish Journal of Botany*, 30 (4): 281-316.
- Ozhatay, F. N., Ş. Kültür & M. B. Gürdal, 2011. Check-list of additional taxa to the supplement Flora of Turkey V. *Turkish Journal of Botany*, 35 (5): 589-624. DOI 10.3906/bot-1101-20
- Ozhatay, N., Ş. K. B. Gürdal, N. Ozhatay, Ş. Kültür & B. Gürdal, 2013. Check-list of additional taxa to the Supplement Flora of Turkey VI. *Journal of Faculty of Pharmacy of Istanbul University*, 43 (1): 33-83.
- Ozhatay, F. N., Ş. Kültür & B. Gürdal, 2022. Check-list of additional taxa to the supplement of flora of Turkey X. *Istanbul Journal of Pharmacy*, 52 (2): 226-249. <https://doi.org/10.26650/IstanbulJPharm.2022.1096223>
- Ozturk, M., A. Celik, C. Yarci, A. Aksoy & E. Feoli, 2002. An overview of plant diversity, land use and degradation in the Mediterranean region of Turkey. *Environmental Management and Health*, 13 (5): 442-449.
- PT, 2023. Plants of Turkey. (Web page: <https://turkiyebitkileri.com/tr/>) (Date accessed: Feb 2023).
- Rayner, J. P., C. Farrell, K. J. Raynor, S. M. Murphy & N. S. Williams, 2016. Plant establishment on a green roof under extreme hot and dry conditions: The importance of leaf succulence in plant selection. *Urban Forestry & Urban Greening*, 15: 6-14. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.11.004>
- Razzaghmanesh, M., S. Beecham & F. Kazemi, 2014. The growth and survival of plants in urban green roofs in a dry climate. *Science of the Total Environment*, 476: 288-297. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.01.014>
- Rowe, D. B., K. L. Getter & A. K. Durhman, 2012. Effect of green roof media depth on Crassulacean plant succession over seven years. *Landscape and Urban Planning*, 104 (3-4): 310-319. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.11.010>
- Scharf, B. & I. Zluwa, 2017. Case study investigation of the building physical properties of seven different green roof systems. *Energy and Buildings*, 151: 564-573. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.06.050>
- Suehs, C. M., L. Affre & F. Médail, 2004. Invasion dynamics of two alien *Carpobrotus* (Aizoaceae) taxa on a Mediterranean island: I. Genetic diversity and introgression. *Heredity*, 92 (1): 31-40. doi:10.1038/sj.hdy.6800374
- Stancu D.I. & R. Stancu, 2003. The Fontinal Vegetation In The- Iosu And Buda Mountains, 77-87 pp.
- S&S, 2023. Sempervivum & Saxifraga. (Web page: <https://www.sempervivum-saxifragen.de/>) (Date accessed: Feb 2023).
- SL, 2023. Sempervivum list the houseleek encyclopedia in words and pictures. (Web page: <https://www.sempervivum-liste.de/>) (Date accessed: Feb 2023).
- Şükran, K. & G. Abamor Bahar, 2022. Check-list of additional taxa to the supplement of flora of Turkey X. *Istanbul Journal of Pharmacy*, 52 (2): 226-249. DOI :10.26650/IstanbulJPharm.2022.1096223
- Takeş, A., M. Fatahinia & A. Z. Mahmoudabadi, 2019. In vitro evaluation of antifungal activity of three traditionally used medicinal plants; *Umbilicus Intermedius* Boiss, *Cuminum Cyminum* and *Zingiber Officinale* extracts. *International Journal of Medical Laboratory*. 6 (4): 266-274.
- Tiede, J., 2017. *Sempervivum gurgeniense* (Crassulaceae)-an overlooked name from the Great Caucasus of Georgia. *Bradleya*, 35: 177-179.
- TUBIVES, 2004. Turkish Plants Data Service. (Web page: <http://194.27.225.161/yasin/tubives/index.php>) (Date accessed: Feb 2023).

- Uludag, A., N. Aksoy, A. Yazlık, Z. F. Arslan, E. Yazmiş, I. Uremis ... & G. Brundu, 2017. Alien flora of Turkey: checklist, taxonomic composition and ecological attributes. *NeoBiota*, 35: 61-85. <https://doi.org/10.3897/neobiota.35.12460>
- Uotila, P., A. N. Sennikov & A. Danin, 2012. The nomenclature of *Portulaca oleracea* and *P. sativa* (Portulacaceae). *Willdenowia*, 25-28 pp.
- Vahdati, N., A. Tehranifar & F. Kazemi, 2017. Assessing chilling and drought tolerance of different plant genera on extensive green roofs in an arid climate region in Iran. *Journal of Environmental Management*, 192: 215-223. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.01.027>
- Van Mechelen, C., T. Dutoit & M. Hermy, 2015. Vegetation development on different extensive green roof types in a Mediterranean and temperate maritime climate. *Ecological Engineering*, 82: 571-582. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.05.011>
- Vanuytrecht, E., C. Van Mechelen, K. Van Meerbeek, P. Willems, M. Hermy & D. Raes, 2014. Runoff and vegetation stress of green roofs under different climate change scenarios. *Landscape and Urban Planning*, 122: 68-77. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.001>
- Vendramini, F., S. Díaz, D. E. Gurvich, P. J. Wilson, K. Thompson & J. G. Hodgson, 2002. Leaf traits as indicators of resource-use strategy in floras with succulent species. *New Phytologist*, 154 (1): 147-157. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2002.00357>
- Vladimirov, V. & K. Tan, 2014. New floristic records in the Balkans: 24. *Phytologia Balcanica: International Journal of Balkan Flora and Vegetation*, 20 (1): 99-137. DOI 10.7546/PhB.28.2.2022.9
- Wagner, J. & W. Larcher, 1981. Dependence of CO₂ gas exchange and acid metabolism of the alpine CAM plant *Sempervivum montanum* on temperature and light. *Oecologia*, 50(1), 88-93.
- Wang, H., R. Wang, S. P. Harrison & I. C. Prentice, 2022. Leaf morphological traits as adaptations to multiple climate gradients. *Journal of Ecology*, 110 (6): 1344-1355. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2010.01.005>
- Wilkinson, S. & R. C. Feitosa, 2015. Retrofitting housing with lightweight green roof technology in Sydney, Australia, and Rio de Janeiro, Brazil. *Sustainability*, 7 (1): 1081-1098. doi:10.3390/su7011081
- Williams, N.S., J.P. Rayner & K.J. Raynor, 2010. Green roofs for a wide brown land: Opportunities and barriers for rooftop greening in Australia. *Urban Forestry & Urban Greening*, 9 (3): 245-251. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2010.01.005>
- Wolf, D. & J. T. Lundholm, 2008. Water uptake in green roof microcosms: Effects of plant species and water availability. *Ecological Engineering*, 33 (2): 179-186. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.02.008>
- Zaharia, A., S. L. Balcău, E. Buta & D. Zaharia, 2012. Research Concerning the Behavior of *Sempervivum* Plants under Treatments with Herbicides. *Bulletin of the University of Agricultural Sciences & Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture*, 69 (1): 363-368.
- Zhang, H., S. Lu, X. Fan, J. Wu, Y. Jiang, L. Ren ... & H. Zhao, 2021. Is sustainable extensive green roof realizable without irrigation in a temperate monsoonal climate? A case study in Beijing. *Science of The Total Environment*, 753: 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142067>
- Zhang, Z., C. Szota, T. D. Fletcher, N.S. Williams, J. Werdin & C. Farrell, 2018. Influence of plant composition and water use strategies on green roof stormwater retention. *Science of the Total Environment*, 625: 775-781. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.231>

