



EÜ Ziraat Fakültesi Adına Sahibi (Director):

Prof. Dr. Banu YÜCEL

Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dekan
(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. Gülfem ÜNAL

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 atıflarda “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

Bitki Koruma

(Plant Protection)

Prof. Dr. Zümrüt AÇIKGÖZ

Zootekni

(Animal Science)

Prof. Dr. Cem KARAGÖZLÜ

Süt Teknolojisi

(Dairy Technology)

Prof. Dr. Fatma AYKUT TONK

Tarla Bitkileri

(Field Crops)

Doç. Dr. Arzu YAZGI

Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği

(Agricultural Machinery & Technologies)

Doç. Dr. Ali Rıza ONGUN

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme

(Soil Science & Plant Nutrition)

Doç. Dr. İpek ALTUĞ TURAN

Peyzaj Mimarlığı

(Landscape Architecture)

Dr. Öğr. Üyesi Ece SALALI

Tarım Ekonomisi

(Agricultural Economics)

Dr. Öğr. Üyesi Emrah ZEYBEKOĞLU

Bahçe Bitkileri

(Horticulture)

Dr. İlkay ALKAN

Tarımsal Yapılar ve Sulama

(Agricultural Structures & Irrigation)

Yayın Tarihi: 28.06.2024

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 & Ege Üniversitesi, TÜRKİYE
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)

- Exogenous application of pipelicolic acid induces stomatal closure in *Arabidopsis thaliana* L.**
Ekzojen pipelikolik asit uygulaması *Arabidopsis thaliana* L.' da stoma kapanmasını tetikler
Sercan PAZARLAR143
- In vitro* and *in vivo* characterization of charcoal rot disease (*Macrophomina phaseolina*) in sesame**
Susamda kömür çürüklüğü hastalığı (*Macrophomina phaseolina*)'nın laboratuvar ve tarla şartlarında karakterizasyonu
Mehmet AYDOĞDU, İlker KURBETLİ151
- Can pruning affect the growth of shallot (*Allium ascalonicum* L.) seedlings from seeds?**
Budama tohum kaynaklı şalot soğanı (*Allium ascalonicum* L.) fidelerinin büyümesini etkileyebilir mi?
Muhammad FARIED, Elkawakib SYAM'UN, Abdul JALIL, Cennawati CENNAWATI, Padil P. WIJAYA, Remi Widana PUTRI165
- The effect of alternative product prices on production balance: Empirical findings on the production of oilseed crops in Türkiye**
Alternatif ürün fiyatlarının üretim dengesi üzerindeki etkisi: Türkiye'de yağlı tohumlu bitkilerin üretimine ilişkin ampirik bulgular
Enver KEN, Ferit ÇOBANOĞLU175
- The effect of supplemental irrigation and exogenous application of glycine betaine on chickpea performance in the semi-arid region**
Yarı kurak bölgede ilave sulama ve ekzojen glisin betain uygulamasının nohut performansına etkisi
Mohsen JANMOHAMMADI, Hasan KOUCHAKKHANI, Naser SABAGHNIA189
- Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)'da yabancı ot kontrolünde bazı herbisitlerin etkinliği**
Weed control efficacy of some herbicides in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)
Haşim KAYCI, Ramazan GÜRBÜZ, Harun ALPTEKİN201
- Manevi güzelliğin yeşil mirası: Cami bahçeleri ve kullanıcı memnuniyeti**
The green heritage of spiritual beauty: Mosque gardens and user satisfaction
Büşra ONAY, Esra BAYAZIT SOLAK217
- Seyyar süt sağım makineleri ile sağımın üç boyutlu hareket yakalama sistemi yardımıyla ergonomik analizi**
Ergonomic analysis of milking with mobile milking machines using 3d motion capture system
Erdal ÖZ, Martina JAKOB, Hülya ÖZ233

Ege Bölgesi'nde Standardize Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) ile kuraklık değerlendirmesi (1951-2022)

Evaluation of drought with Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) in the Aegean Region (1951-2022)

Onur KAYAN, Ecmel ERLAT249

DERLEMELER (REVIEWS)

Systematic literature review: Agricultural digitalization, technological transformation towards efficient and sustainable agriculture

Sistematik literatür taraması: Tarımsal dijitalleşme, verimli ve sürdürülebilir tarıma doğru teknolojik dönüşüm

Khotimatul BARKI, Malinda Aptika RACHMAH259

Research Article (Araştırma Makalesi)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2024, 61 (2):143-150
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1418307>

Sercan PAZARLAR^{1*} 

¹ Ege University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection, 35100, Bornova, İzmir, Türkiye

* Corresponding author (Sorumlu yazar):

sercan.pazarlar@ege.edu.tr

Exogenous application of pipecolic acid induces stomatal closure in *Arabidopsis thaliana* L.

Ekzojen pipekolik asit uygulaması *Arabidopsis thaliana* L.' da stoma kapanmasını tetikler

Received (Alınış): 11.01.2024

Accepted (Kabul Tarihi):23.04.2024

ABSTRACT

Objective: The major objectives of this study were (i) to determine whether exogenous Pipecolic acid treatment triggers the stomatal closure; (ii) to assess how the stomatal response is influenced by the method and concentrations of Pipecolic acid treatment; (iii) to investigate the response of Pipecolic acid-primed plants to the foliar bacterial pathogen *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* DC3000 that invades plants through stomata.

Material and Methods: Freshly harvested *Arabidopsis* leaves were immersed in MES-KCl buffer supplemented with 1 mM of D,L-Pipecolic acid for 2 h. Stomatal aperture was measured in epidermal strips collected from the abaxial side of the leaves. Stomatal aperture in Pipecolic acid-treated plants was also directly quantified after *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* DC3000 inoculation.

Results: The treatment with D,L-Pipecolic acid resulted in increased stomatal closure in a concentration-dependent manner. Treatments with 0.1 mM and 1 mM of D,L-Pipecolic acid led to a reduction in stomatal aperture by 32.5% and 54.7%, respectively. Leaves treated with either 1 mM of D,L-Pipecolic acid or L-Pipecolic acid demonstrated similar stomatal apertures corresponding to 2.67 and 2.49 µm, respectively. The stomatal apertures did not exhibit a significant difference between the treatments following the *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* DC3000 infection. Pipecolic acid-mediated enhanced defense is independent of stomatal immunity.

Conclusion: Exogenous Pipecolic acid triggers preinvasion stomatal closure in *Arabidopsis*. There is no difference between pipecolic acid application methods (soil drenching or foliar spray) in terms of affecting stoma closure.

ÖZ

Amaç: Bu çalışmanın ana amaçları şu şekildedir: (i) Ekzojen Pipekolik asit uygulamasının stoma kapanmasını tetikleyip tetiklemediğini belirlemek; (ii) Stoma tepkisinin Pipekolik asit uygulama yöntemi ve konsantrasyonlarından nasıl etkilendiğini saptamak; (iii) Pipekolik asitle uyarılmış bitkilerin, stomalar yoluyla bitkiye giriş yapan bakteriyel patojen *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* DC3000'e karşı tepkisini araştırmak.

Materyal ve Yöntem: Taze koparılmış *Arabidopsis* yaprakları, 2 saat boyunca 1 mM D,L-Pipekolik asit içeren MES-KCl çözeltisine daldırılmıştır. Stoma açıklığı, yaprakların üst yüzeyinden toplanan epidermal şeritlerde ölçülmüştür. Pipekolik asit uygulanmış *Arabidopsis* bitkilerindeki stoma açıklığı da *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* DC3000 inokulasyonundan 0, 2 ve 4 saat sonra alınan epidermal şeritlerde ölçülmüştür.

Araştırma Bulguları: D,L-Pipekolik asit uygulaması, konsantrasyona bağlı bir şekilde stoma kapanmasının artmasına neden olmuştur. 0.1 mM ve 1 mM D,L-Pipekolik asit ile yapılan uygulamalar stoma açıklığında sırasıyla %32.5 ve %54.7 oranında bir azalmaya yol açmıştır. 1 mM D,L-Pipekolik asit veya L-Pipekolik asit ile muamele edilen yapraklar, sırasıyla 2,67 ve 2,49 µm'ye karşılık gelen benzer stoma açıklıkları göstermiştir. Bakteriyel enfeksiyonun ardından stoma açıklıkları uygulamalar arasında önemli bir fark sergilememiştir. Pipekolik asit aracılı gelişmiş savunma, stoma bağışıklığından bağımsızdır.

Sonuç: Ekzojen Pipekolik asit, *Arabidopsis*'te enfeksiyon öncesi stoma kapanmasını tetikler. Pipekolik asit uygulama metotları arasında (toprağı ıslatma ya da yaprağa püskürtme) stoma kapanmasını etkilemesi bakımından fark yoktur.

Keywords: D,L-Pip, plant defense responses, *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* DC3000, systemic acquired resistance, stomatal defense

Anahtar sözcükler: D,L-Pip, bitki savunma cevapları, *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* DC3000, sistemik kazanılmış dayanıklılık, stoma savunması

INTRODUCTION

Stomata, natural apertures formed by specialized guard cells situated in the leaf epidermis, serve a crucial physiological role in regulating the processes of transpiration and carbon dioxide (CO₂) uptake essential for photosynthesis. Various plant pathogens from diverse taxonomic origins, including bacteria, oomycetes, and fungi, penetrate the inner tissues of leaves by utilizing stomatal pores (Melotto et al., 2006; Solanki et al., 2019; Yang et al., 2021a).

Stomata play a prominent role in the regulation of plant innate immunity response, predicated on the perception of pathogen associated-molecular patterns (PAMPs). This phenomenon is scientifically elucidated as stomatal defense (Melotto et al., 2006, 2017). Numerous scientific inquiries have demonstrated that plants have evolved to sense and respond to the PAMPs to restrict pathogen entry by closing the stomata efficiently (Melotto et al., 2006; Lozano-Durán et al., 2014; Judelson & Ah-Fong, 2019; Ye et al., 2020). In return, certain pathogens possess the capacity to inhibit plant-mediated stomatal closure (Gudesblat et al., 2009; Lozano-Durán et al., 2014) or induce stomatal openings (Schellenberg et al., 2010) to gain access to the interior.

Stomatal movement is regulated by the influx and efflux of water and solutes such as K⁺ into and out of guard cells. This regulation is governed by sophisticated signaling networks that respond to environmental stimuli or endogenous signals (Jia & Zhang, 2008; Kollist et al., 2014). Reactive oxygen species (ROS), along with their detoxifying enzymes, ion pumps, channels, plant hormones and transport proteins for H⁺, K⁺, Ca²⁺ in the plasma membrane, collectively contribute to the orchestration of stomatal movement (Jia & Zhang, 2008; Kollist et al., 2014; Sierla et al., 2016; Qi et al., 2018). Among these regulatory elements, abscisic acid (ABA) plays pivotal role in mediating stomatal closure, and its functions have been extensively elucidated in the literature (Munemasa et al., 2015; Hsu et al., 2021). The functions of plant defense related hormones, such as jasmonic acid (JA), salicylic acid (SA), and ethylene (ET) in the regulation of stomatal closure have also been highlighted (Acharya & Assmann, 2009). Notably, the phenolic hormone SA emerges as a crucial signal in the plant's defense against pathogens, assuming a direct role in stomatal defense (Zeng et al., 2011; Miura & Tada, 2014; Melotto et al., 2017). Additionally, it has been observed to play a secondary role in downstream signaling, contributing to the regulation of stomatal closure in response to pathogenic threats (Wang et al., 2020).

A non-protein amino acid pipecolic acid (Pip) was identified as a one of the key mediators of systemic resistance against (hemi)biotrophic pathogens (Návarová et al., 2013, Bernsdorff et al., 2016; Hartmann et al., 2017). Systemic acquired resistance (SAR) is a phenomenon wherein plants exhibit an enhanced defense response to a diverse range of pathogens in distal tissues following a localized pathogen attack (Tosun & Onan, 2020). The establishment of SAR requires the systemic translocation of signaling molecules after a local infection. SA and the *N*-hydroxylated derivative of pipecolic acid (Pip), *N*-hydroxy-pipecolic acid (NHP), are the two main regulatory molecules of SAR (Shan & He, 2018; Wang et al., 2018b). NHP coordinates the establishment of SAR in conjunction with the immune signal SA. The activation of pathogen-inducible pipecolate and salicylate pathways involves both shared and distinct regulatory elements. Additionally, reciprocal interactions between these metabolic branches are evident (Bernsdorff et al., 2016; Hartmann & Zeier, 2019). A set of Calmodulin-binding Transcription Activator (CAMTA) transcription factors, which exhibit some degree of overlap, regulate specific gene sets involved in the accumulation of SA and NHP through a positive-feedback loop (Kim et al., 2020).

The exogenous application of Pip confers protection across a diverse spectrum of plant species, encompassing both monocotyledonous and dicotyledonous plants, against biotrophic pathogens. Application of Pip/NHP to *Arabidopsis thaliana* L. roots has been observed to result in reduced *Pseudomonas syringae* pv. *maculicola* (Návarová et al., 2013, Chen et al., 2018; Schnake et al., 2020) and *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* (*Pst* DC3000) colonization (Wang et al., 2018a). Furthermore, exogenous application of Pip and/or NHP has demonstrated systemic protection against *Pseudomonas*

syringae pv. *lachrymans* (Schnake et al., 2020; Pazarlar et al., 2021) and *Podosphaera xanthii* in *Cucumis sativus* L. (Pazarlar et al., 2021) and as well as towards *Phytophthora infestans* (Schnake et al., 2020) and *Pst* (Zhang et al., 2020) in *Solanum lycopersicum* L. Additionally, an increased plant protection against *Blumeria graminis* f. sp. *hordei* and *Xanthomonas translucens* pv. *cerealis* was demonstrated through Pip treatment in *Hordeum vulgare* L. plants (Lenk et al., 2019).

Despite the accumulating data showing that exogenous application Pip confers protection to various (hemi)biotrophs, the contribution of stomatal defense in regulating this enhanced protection remains unexplored. The major objectives of this study were (i) to determine whether exogenous Pip treatment triggers the stomatal closure; (ii) to assess how the stomatal response is influenced by the method and concentrations of Pip treatment; (iii) to investigate the response of Pip-primed plants to the foliar bacterial pathogen *Pst* that invades plants through stomata.

MATERIALS and METHOD

Plant materials and growth

Arabidopsis thaliana ecotype Col-0 seeds were surface-sterilized by 2% sodium hypochlorite for 5 min followed by a 5 min treatment with 70% ethanol. The seeds were sown in the growth substrate (Klasmann TS1, Germany), subjected to a 3-days stratification at 4°C, and plants were grown in a growth chamber under conditions of 22°C with a 16/8 h day/night cycle (Li et al., 2011).

Chemicals

MES-KCl buffer, comprising 50 mM KCl, 0.1 mM CaCl₂, and 10 mM Mes-KOH (pH 6.15), was used to induce stomatal opening. The D,L-Pip (CAS number 535-75-1) and L-Pip (CAS number 3105-95-1) (TCI Chemicals, India), and H₂O₂ (Merck Millipore, Germany) were used in this study.

Pathogen inoculation

As a model pathogenic bacterium, *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* DC3000 (*Pst*), received from the Department of Plant and Environmental Sciences, Copenhagen University, Denmark was used in this study. *Pst* DC3000 was grown in liquid King's medium B (10 g/l proteose peptone, 1.5 g/l K₂HPO₄, 1.5 g/l MgSO₄•7H₂O, and 10 ml glycerol), for 24 h and bacterial cells were harvested into sterile dH₂O. The bacterial suspension was adjusted to the OD₆₀₀=0.2 (PG Instruments-T60 spectrophotometer). Inoculation was performed by foliar spraying (Zipfel et al., 2004).

Stomatal bioassays

Stomatal closure was measured according to the method as described by Li et al. 2013. The fully expanded youngest leaves of 4-week-old *Arabidopsis* plants were detached and floated on MES-KCl buffer for 2 h with adaxial surfaces facing upwards in a plastic Petri dish (∅ 90 mm) in a growth chamber at 22°C. The leaves were then transferred to fresh MES-KCl buffer, either alone (as a control) or supplemented with pipercolic acid (0.1 mM or 1 mM) or 100 µM of H₂O₂, followed by further incubation for 2 h. Peels (epidermal strips) collected from the abaxial side of the leaves by using forceps were mounted on a glass slide and observed under light microscope. Images of epidermal peels were captured under the microscope and the stomatal apertures were measured following the calibration of length based on an external scale used during taking the pictures by using Image J software. At least 10 stomata from 5 different leaves were counted per treatment.

To directly measure stomatal aperture on *Arabidopsis* plants, four-week-old plants treated with either 1 mM of D,L-Pip or water (control) by soil drenching or foliar spraying. Subsequently, the leaves were inoculated with *Pst* DC3000 at 2 h post-treatment. At least three leaves per plant were peeled and more than 50 stomatal aperture was measured at 0, 2 and 4 hours after *Pst* DC3000 inoculation.

Statistical analysis

The data presented in this study were analyzed statistically with GraphPad Prism v10. Shapiro-Wilk test was used to test the normality and homogeneity of the data. The comparisons between treatments were made using Student's *t*-test (** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$, **** $P < 0.0001$, ns non-significant).

RESULTS and DISCUSSION

The role of stomatal closure in plant innate immunity, often referred to as the stomatal defense response, has become a prominent and actively discussed topic in recent years. A substantial amount of recent data indicates that Pip and NHP, serving as endogenous signals in plant immunity, predominantly regulate SAR in a SA-dependent manner, with a partial involvement in SA-independent pathways (Bernsdorff et al., 2016; Hartmann & Zeier, 2019). Nitric oxide (NO) and ROS have been postulated to play a role in Pip-mediated SAR and priming responses (Lenk et al., 2019; Wang et al., 2018a; Pazarlar et al., 2021). Considering that some components such as SA and ROS regulated by Pip treatment are also associated with stomatal closure, experiments were conducted to assess whether exogenous Pip treatment could induce stomatal closure in Arabidopsis. To investigate the effects of Pip on stomatal closure in Col-0 plants, freshly harvested leaves were immersed in MES-KCl buffer supplemented with 1 mM of D,L-Pip for 2 h. The treatment with D,L-Pip resulted in increased stomatal closure in a concentration-dependent manner. Treatments with 0.1 mM and 1 mM of D,L-Pip led to a reduction in stomatal aperture by 32.5% ($P < 0.0001$) and 54.7% ($P < 0.0001$), respectively. As a positive control H_2O_2 , known to induce stomatal closure, was included in the experiment. H_2O_2 induced a significant increase (58.9%) in stomatal closure ($P < 0.0001$), confirming the success of the experimental setup (Figure 1A, 1B).

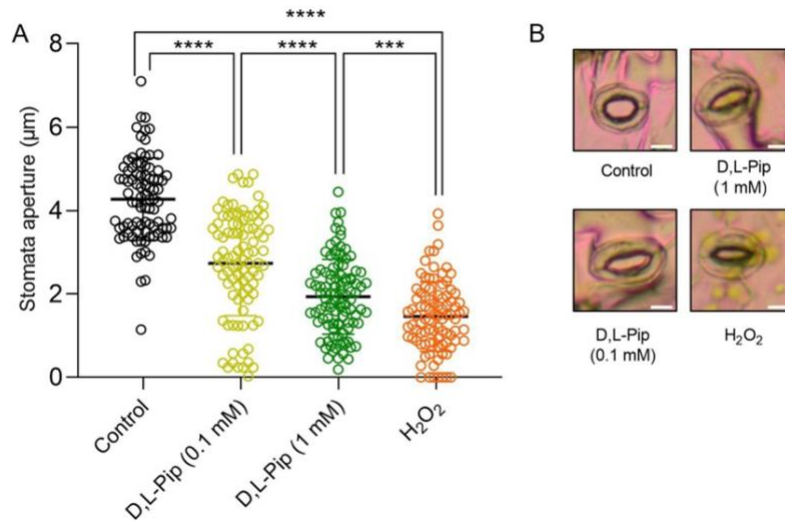


Figure 1. Exogenous D,L-Pip treatment induces stomatal closure. A. Stomatal aperture of D,L-Pip and H_2O_2 treated leaves, B. Representative images of stomatal openings (** $P < 0.001$, **** $P < 0.0001$).

Şekil 1. Ekzojen D,L-Pip uygulaması stoma kapanmasını tetikler. A. D,L-Pip ve H_2O_2 uygulanan bitkilerde stoma açıklığı, B. Stoma açıklıklarının temsili fotoğrafları (** $P < 0.001$, **** $P < 0.0001$).

Additional experiments were conducted to test whether the stomatal-inducing effect of Pip is enantiomer-dependent. Leaves treated with either 1 mM of D,L-Pip or L-Pip demonstrated similar stomatal aperture, indicating that the effect is independent of the Pip enantiomer (Figure 2). Some other studies also demonstrated that the responses of plants to pipercolic acid remain independent of its enantiomers (Návarová et al., 2013; Pazarlar et al., 2021).

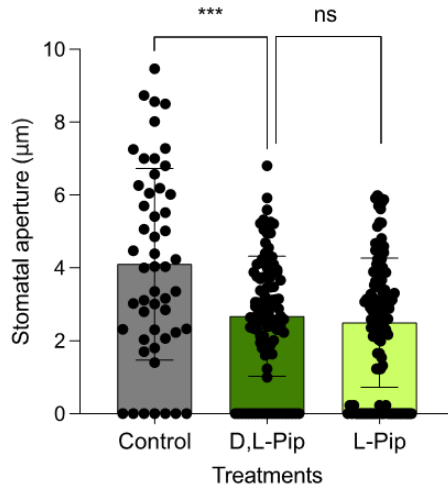


Figure 2. The stomatal closure inducing effect is independent of the Pip enantiomer (** $P < 0.001$, ns non-significant).

Şekil 2. Pip'in stoma kapanması üzerine etkisi enantiyomerinden bağımsızdır (** $P < 0.001$, ns önemli değil).

This dataset depicted in Figures 1 and 2 represents the initial observation in the literature that the exogenous application of Pip leads to a significant increase in stomatal closure. The studies indicate that SA, functioning as a SAR signal, modulates stomatal defense, potentially triggering the generation of ROS and NO, alongside calcium signaling (Joon-Sang, 1998; Hao et al., 2010; Hao et al., 2011; Khokon et al., 2011). Pip-triggered stomatal closure may similarly occur via ROS accumulation or Ca^{2+} signaling via indirect salicylic interaction. Furthermore, considering the relationship of SAR components such as SA with ABA, which serves as a key regulator of stomatal movements (Prodhan et al., 2018), it is important to note the potential involvement of ABA in Pip-mediated stomatal closure.

As most studies conducted so far have focused on examining the SAR-related effects of exogenous Pip applications, the preferred method for Pip application has been soil drenching. In this study, the effects of soil drench and foliar spray of 1 mM of D,L-Pip on stomatal closure were evaluated. The results obtained indicated no significant difference in stomatal aperture between Pip treatments with soil drench and foliar spray (Figure 3A).

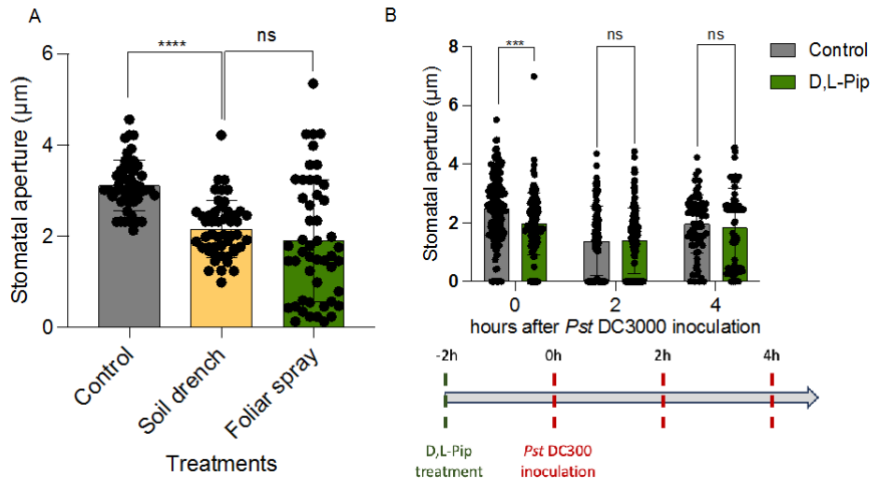


Figure 3. D,L-Pip triggered stomatal closure is not affected differently by Pst DC3000 (** $P < 0.001$, **** $P < 0.0001$, ns non-significant).

Şekil 3. D,L-Pip ile tetiklenen stoma kapanması Pst DC3000'den farklı şekilde etkilenmez (** $P < 0.001$, **** $P < 0.0001$, ns önemli değil).

Stomata represent the main sites of entry for foliar pathogens mainly plant pathogenic bacteria. Restricting pathogens at entry points into plants constitutes a highly effective mechanism for plant protection. In this context, stomatal aperture in Pip-treated plants was directly quantified to examine how plants pre-treated with Pip respond to *Pst* DC3000 in terms of stomatal closure. The pretreatment with 1 mM D,L-Pip led to a reduction in stomatal aperture, as illustrated in Figure 3B. Subsequent inoculation with *Pst* DC3000 resulted in a noteworthy closure of stomata observed in both control and Pip-treated plants 2 hours post inoculation (hpi). However, the stomatal apertures did not exhibit a significant difference between the two treatments. The infection-induced stomatal closure observed at 2 hpi partially disappeared in plants at 4 hpi, regardless of whether they were pretreated with Pip or not (Figure 3B). The exogenous application of Pip has been shown to prime plants for enhanced resistance against *Pst* DC3000 (Wang et al., 2018a). Here, it was speculated whether stomatal defense is involved in the enhanced defense triggered by exogenous application of Pip. Even though D,L-Pip by itself caused a reduction in stomatal aperture, the observed difference in inoculated plants was statistically insignificant when compared to the control treatment. This suggests that Pip-mediated enhanced defense is independent from stomatal immunity. Coronatine (COR), a virulence factor employed by *Pst*, is known to induce the reopening of closed stomata as a strategy to overcome stomatal immunity (Zeng & He, 2010; Panchal et al., 2016; Toum et al., 2016; Uddin et al., 2022). Thus, the presence of *Pst*-originated COR could hinder the Pip-triggered stomatal closure. These findings indicate that Pip triggers preinvasion stomatal immunity. Similar observations were reported in various studies involving different signaling molecules, such as ABA (Liu et al., 2019) melatonin (Yang et al., 2021b).

CONCLUSIONS

The mechanism behind the enhanced protection in Pip applied plants have been under investigation in the last decade. It has now well established that NHP is a mobile signal takes function in signaling during SAR. Nevertheless, a comprehensive elucidation of the mechanisms governing the action of molecules that activate the plant defense system, including Pip, remains imperative. In this study, it has been demonstrated that stomatal closure is triggered following exposure to exogenous Pip, regardless of the treatment method employed. Similarly, the presence of *Pst* did not impact stomatal closure, suggesting that Pip-triggered plant protection is independent of stomatal defense in model plant *Arabidopsis*.

Data Availability

Data will be made available upon reasonable request.

Author Contributions

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

Ethical Statement

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

Financial Support

This research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Article Description

This article was edited by Editor Prof. Dr. Galip KAŞKAVALCI.

REFERENCES

- Acharya, B.R. & S.M. Assmann, 2009. Hormone interactions in stomatal function. *Plant Molecular Biology*, 69 (4): 451-462.
- Bernsdorff, F., A.C. Döring, K. Gruner, S. Schuck, A. Bräutigam & J. Zeier, 2016. Pipercolic acid orchestrates plant systemic acquired resistance and defense priming via salicylic acid-dependent and -independent pathways. *The Plant Cell*, 28 (1): 102-129.
- Chen, Y.C., E.C. Holmes, J. Rajniak, J.G. Kim, S. Tang, C.R. Fischer, M.B. Muggett & E.S. Sattely, 2018. *N*-hydroxypipercolic acid is a mobile metabolite that induces systemic disease resistance in *Arabidopsis*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115 (21): E4920-E4929.
- Gudesblat, G.E., P.S. Torres & A.A. Vojnov, 2009. *Xanthomonas campestris* overcomes arabidopsis stomatal innate immunity through a DSF cell-to-cell signal-regulated virulence factor. *Plant Physiology*, 149 (2): 1017-1027.
- Hao, F., S. Zhao, H. Dong, H. Zhang, L. Sun & C. Miao, 2010. *Nia1* and *Nia2* are involved in exogenous salicylic acid-induced nitric oxide generation and stomatal closure in *Arabidopsis*. *Journal of Integrative Plant Biology*, 52 (3): 298-307.
- Hao, J.H., X.L. Wang, C.J. Dong, Z.G. Zhang & Q.M. Shang, 2011. Salicylic acid induces stomatal closure by modulating endogenous hormone levels in cucumber cotyledons. *Russian Journal of Plant Physiology*, 58 (5): 906-913.
- Hartmann, M., D. Kim, F. Bernsdorff, Z. Ajami-Rashidi, N. Scholten, S. Schreiber, T. Zeier, S. Schuck, V. Reichal-Deland & J. Zeier, 2017. Biochemical principles and functional aspects of pipercolic acid biosynthesis in plant immunity. *Plant Physiology*, 174 (1): 124-153.
- Hartmann, M. & J. Zeier, 2019. *N*-hydroxypipercolic acid and salicylic acid: a metabolic duo for systemic acquired resistance. *Current Opinion in Plant Biology*, 50: 44-57.
- Hsu, P.K., G. Dubeaux, Y. Takahashi & J.I. Schroeder, 2021. Signaling mechanisms in abscisic acid-mediated stomatal closure. *The Plant Journal*, 105 (2): 307-321.
- Jia, W. & J. Zhang, 2008. Stomatal movements and long-distance signaling in plants. *Plant Signaling & Behavior*, 3 (10): 772-777.
- Joon-Sang, L., 1998. The mechanism of stomatal closing by salicylic acid in *Commelina communis* L. *Journal of Plant Biology*, 41 (2): 97-102.
- Judelson, H.S. & A.M.V. Ah-Fong, 2019. Exchanges at the plant-oomycete interface that influence disease. *Plant Physiology*, 179 (4): 1198-1211.
- Khokon, M.A.R., E.I.J.I. Okuma, M.A. Hossain, S. Munemasa, M. Uraji, Y. Nakamura, I.C. Mori & Y. Murata, 2011. Involvement of extracellular oxidative burst in salicylic acid-induced stomatal closure in *Arabidopsis*. *Plant, Cell & Environment*, 34 (3): 434-443.
- Kim, Y., S.J. Gilmour, L. Chao, S. Park & M.F. Thomashow, 2020. Arabidopsis CAMTA transcription factors regulate pipercolic acid biosynthesis and priming of immunity genes. *Molecular Plant*, 13 (1): 157-168.
- Kollist, H., M. Nuhkat & M.R.G. Roelfsema, 2014. Closing gaps: linking elements that control stomatal movement. *New Phytologist*, 203 (1): 44-62.
- Lenk, M., M. Wenig, K. Bauer, F. Hug, C. Knappe, B. Lange, Timsy, F. Häußler, F. Mengel, S. Dey, A. Schäffner & A.C. Vlot, 2019. Pipercolic acid is induced in barley upon infection and triggers immune responses associated with elevated nitric oxide accumulation. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 32 (10): 1303-1313.
- Li, X., 2011. Arabidopsis growing protocol-a general guide. *Bio-Protocol*, 1 (17): e126-e126.
- Li, X., X.G. Ma & J.M. He, 2013. Stomatal bioassay in Arabidopsis leaves. *Bio-Protocol*, 3 (19): e921-e921.
- Liu, X., T. Afrin & K.M. Pajerowska-Mukhtar, 2019. Arabidopsis GCN2 kinase contributes to ABA homeostasis and stomatal immunity. *Communications Biology*, 2 (1): 1-13.
- Lozano-Durán, R., G. Bourdais, S.Y. He & S. Robatzek, 2014. The bacterial effector HopM1 suppresses PAMP-triggered oxidative burst and stomatal immunity. *New Phytologist*, 202 (1): 259-269.
- Melotto, M., W. Underwood, J. Koczan, K. Nomura & S.Y. He, 2006. Plant stomata function in innate immunity against bacterial invasion. *Cell*, 126 (5): 969-980.
- Melotto, M., L. Zhang, P.R. Oblessuc & S.Y. He, 2017. Stomatal defense a decade later. *Plant Physiology*, 174 (2): 561-571.
- Miura, K., & Y. Tada, 2014. Regulation of water, salinity, and cold stress responses by salicylic acid. *Frontiers in Plant Science*, 5: 70455.
- Munemasa, S., F. Hauser, J. Park, R. Waadt, B. Brandt & J.I. Schroeder, 2015. Mechanisms of abscisic acid-mediated control of stomatal aperture. *Current Opinion in Plant Biology*, 28: 154-162.
- Návarová, H., F. Bernsdorff, A.C. Döring & J. Zeier, 2013. Pipercolic acid, an endogenous mediator of defense amplification and priming, is a critical regulator of inducible plant immunity. *The Plant Cell*, 24 (12): 5123-5141.

- Panchal, S., D. Roy, R. Chitrakar, L. Price, Z.S. Breitbart, D.W. Armstrong & M. Melotto, 2016. Coronatine facilitates *Pseudomonas syringae* infection of Arabidopsis leaves at night. *Frontiers in Plant Science*, 7: 880.
- Pazarlar, S., U. Sanver & N. Cetinkaya, 2021. Exogenous pipecolic acid modulates plant defense responses against *Podosphaera xanthii* and *Pseudomonas syringae* pv. *lachrymans* in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Biology*, 23 (3): 473-484.
- Prodhan, Y., S. Munemasa, N.E.N. Nahar, Y. Nakamura & Y. Murata, 2018. Guard cell salicylic acid signaling is integrated into abscisic acid signaling via the Ca²⁺/CPK-dependent pathway. *Plant Physiology*, 178 (1): 441-450.
- Qi, J., C.P. Song, B. Wang, J. Zhou, J. Kangasjärvi, J.K. Zhu & Z. Gong, 2018. Reactive oxygen species signaling and stomatal movement in plant responses to drought stress and pathogen attack. *Journal of Integrative Plant Biology*, 60 (9): 805-826.
- Schellenberg, B., C. Ramel & R. Dudler, 2010. *Pseudomonas syringae* virulence factor Syringolin counteracts stomatal immunity by proteasome inhibition. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 23 (10): 1287-1293.
- Schnake, A., M. Hartmann, S. Schreiber, J. Malik, L. Brahmman, I. Yildiz, J. von Dahlen, L.E. Rose, U. Schaffrath & J. Zeier, 2020. Inducible biosynthesis and immune function of the systemic acquired resistance inducer *N*-hydroxypipecolic acid in monocotyledonous and dicotyledonous plants. *Journal of Experimental Botany*, 71 (20): 6444-6459.
- Shan, L. & P. He, 2018. Pipped at the post: Pipecolic acid derivative identified as SAR regulator. *Cell*, 173 (2): 286-287.
- Sierla, M., C. Waszczak, T. Vahisalu & J. Kangasjärvi, 2016. Reactive oxygen species in the regulation of stomatal movements. *Plant Physiology*, 171 (3): 1569-1580.
- Solanki, S., G. Ameen, P. Borowicz & R.S. Brueggeman, 2019. Shedding light on penetration of cereal host stomata by wheat stem rust using improved methodology. *Scientific Reports*, 9 (1): 7939.
- Tosun, N. & E. Onan, 2020. Bitki hastalıklarının entegre yönetiminde bitki immunitesi uyarıcılarının potansiyel kullanımı. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 57 (1): 145-156.
- Toum, L., P.S. Torres, S.M. Gallego, M.P. Benavides, A.A. Vojnov & G.E. Gudesblat, 2016. Coronatine inhibits stomatal closure through guard cell-specific inhibition of NADPH oxidase-dependent ROS production. *Frontiers in Plant Science*, 7: 1851.
- Uddin, S., D. Bae, J.Y. Cha, G. Ahn, W.Y. Kim & M.G. Kim, 2022. Coronatine induces stomatal reopening by inhibiting hormone signaling pathways. *Journal of Plant Biology*, 65 (5): 403-411.
- Wang, C., R. Liu, G.H. Lim, L. de Lorenzo, K. Yu, K. Zhang & P. Kachroo, 2018a. Pipecolic acid confers systemic immunity by regulating free radicals. *Science Advances*, 4 (5): eaar4509.
- Wang, H. Q., L.P. Sun, L.X. Wang, X.W. Fang, Z.Q. Li, F.F. Zhang, X. Hu, C. Qi & J.M. He, 2020. Ethylene mediates salicylic-acid-induced stomatal closure by controlling reactive oxygen species and nitric oxide production in Arabidopsis. *Plant Science*, 294: 110464.
- Wang, Y., S. Schuck, J. Wu, P. Yang, A.C. Döring, J. Zeier & K. Tsuda, 2018b. A MPK3/6-WRKY33-ALD1-pipecolic acid regulatory loop contributes to systemic acquired resistance. *The Plant Cell*, 30 (10): 2480-2494.
- Yang, L.N., H. Liu, Y.P. Wang, J. Seematti, L.J. Grenville-Briggs, Z. Wang & J. Zhan, 2021a. Pathogen-mediated stomatal opening: A previously overlooked pathogenicity strategy in the oomycete pathogen *Phytophthora infestans*. *Frontiers in Plant Science*, 12: 668797.
- Yang, Q., Z. Peng, W. Ma, S. Zhang, S. Hou, J. Wei, S. Dong, X. Yu, Y. Song, W. Gao, Z. Rengel, L. Huang, X. Cui & Q. Chen, 2021b. Melatonin functions in priming of stomatal immunity in *Panax notoginseng* and *Arabidopsis thaliana*. *Plant Physiology*, 187 (4): 2837-2851.
- Ye, W., S. Munemasa, T. Shinya, W. Wu, T. Ma, J. Lu, T. Kinoshita, H. Kaku, N. Shibuya & Y. Murata, 2020. Stomatal immunity against fungal invasion comprises not only chitin-induced stomatal closure but also chitosan-induced guard cell death. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117 (34): 20932-20942.
- Zeng, W., A. Brutus, J.M. Kremer, J.C. Withers, X. Gao, A.D. Jones & S.Y. He, 2011. A genetic screen reveals Arabidopsis stomatal and/or apoplastic defenses against *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* DC3000. *PLOS Pathogens*, 7 (10): e1002291.
- Zeng, W. & S.Y. He, 2010. A prominent role of the flagellin receptor FLAGELLIN-SENSING2 in mediating stomatal response to *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* DC3000 in Arabidopsis. *Plant Physiology*, 153 (3): 1188-1198.
- Zhang, H., Y. Qiu, M. Li, F. Song & M. Jiang, 2020. Functions of pipecolic acid on induced resistance against *Botrytis cinerea* and *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* DC3000 in tomato plants. *Journal of Phytopathology*, 168 (10): 591-600.
- Zipfel, C., S. Robatzek, L. Navarro, E.J. Oakeley, J.D. Jones, G. Felix & T. Boller, 2004. Bacterial disease resistance in Arabidopsis through flagellin perception. *Nature*, 428 (6984): 764-767.



Research Article (Araştırma Makalesi)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2024, 61 (2):151-163
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1432773>

Mehmet AYDOĞDU^{1*}

İlker KURBETLİ¹

¹ Batı Akdeniz Agricultural Research Institute,
Department of Plant Health, 07100, Aksu,
Antalya, Türkiye

* Corresponding author (Sorumlu yazar):

mehmet9498@yahoo.com

In vitro and *in vivo* characterization of charcoal rot disease (*Macrophomina phaseolina*) in sesame

Susamda kömür çürüklüğü hastalığı (*Macrophomina phaseolina*)'nın laboratuvar ve tarla şartlarında karakterizasyonu

Received (Alınış): 06.02.2024

Accepted (Kabul Tarihi):23.04.2024

ABSTRACT

Objective: This study aimed to characterize charcoal rot pathogen (*Macrophomina phaseolina*) of sesame *in vitro* and *in vivo*.

Material and Methods: In 2017, two isolates of *M. phaseolina* were isolated from symptomatic sesame plants in Aksu district of the Western Mediterranean region of Türkiye. Pathogenicity tests were conducted using cv. Mugañlı-57 in a greenhouse. Micromorphological characteristics (colony growth, colony color, mycelium, and microsclerotium) and chlorate sensitivity of the isolates were determined *in vitro*. Effects of temperature on colony growth and symptoms of charcoal rot in the field were also examined in detail.

Results: Significant ($P<0.01$) differences were detected in microsclerotium length, microsclerotium width, and colony growths of the isolates on minimal medium. Both isolates were characterized as chlorate-sensitive. On minimal medium, Aksus1 isolate displayed a feathery growth pattern, while Aksus2 isolate showed a restricted growth pattern. Temperature significantly ($P<0.01$) affected colony growth. The highest colony growths were detected at 35°C, while the lowest ones were found at 40°C.

Conclusion: The results may provide new insights into the epidemiology of the charcoal rot disease. To the best of our knowledge, this is the first detailed characterization of microscopic traits and charcoal rot symptoms on sesame in the field in the Western Mediterranean region of Türkiye.

ÖZ

Amaç: Bu çalışma susam bitkisinde kömür çürüklüğü patojeninin (*Macrophomina phaseolina*) laboratuvar ve tarla şartlarında karakterize edilmesini amaçlamıştır.

Materyal ve Yöntem: 2017 yılında, *M. phaseolina*'nın iki izolatu Batı Akdeniz Bölgesi'nde Aksu lokasyonunda hastalık belirtisi gösteren bitkilerden izole edilmiştir. Patojenisite testleri serada Mugañlı-57 çeşidi kullanılarak yapılmıştır. İzolatların mikromorfolojik özellikleri (koloni gelişmesi, koloni rengi, miselyum ve mikrosklerot) ve klorat hassasiyetleri laboratuvar koşullarında belirlenmiştir. Sıcaklığın koloni gelişmesi üzerine etkisi ve tarlada kömür çürüklüğü hastalığının belirtileri ayrıca detaylı olarak incelenmiştir.

Araştırma Bulguları: Minimal ortamda izolatların mikrosklerot uzunluğu, mikrosklerot genişliği ve koloni gelişmelerinde önemli (%1) farklılıklar tespit edilmiştir. Her iki izolat klorata hassas olarak karakterize edilmiştir. Minimal ortamda Aksus1 izolatu tüylü bir gelişme deseni gösterirken, Aksus2 izolatu kısıtlanmış bir gelişme deseni göstermiştir. Sıcaklık izolatların koloni gelişmelerini önemli (%1) derecede etkilemiştir. En yüksek koloni gelişmeleri 35°C' de tespit edilirken, en düşük gelişmeler 40°C' de bulunmuştur.

Sonuç: Sonuçlar kömür çürüklüğü hastalığının epidemiyolojisinin anlaşılmasına yeni katkılar sunmaktadır. Bildiğimiz kadarıyla, bu Türkiye'nin Batı Akdeniz Bölgesi'nde susam bitkilerinde kömür çürüklüğü hastalığının mikroskopik özelliklerini ve tarlada belirtilerini detaylı olarak karakterize eden ilk çalışmadır.

Keywords: Field symptoms, fungal disease, fungal traits, *Sesamum indicum*

Anahtar sözcükler: Tarla belirtileri, fungal hastalık, fungal özellikler, *Sesamum indicum*

INTRODUCTION

Sesame (*Sesamum indicum* L.), belongs to *Pedaliaceae* family, is regarded to be the oldest oilseed crop that is native to Africa (Ram et al., 1990). It is mainly grown for its seed and oil in the seed. Sesame seed contains a high amount of oil (60%), protein (25%), and methionine (Nayar & Mehra, 1970). Due to the climatic requirement (110 to 150 frost-free days), it has been cultivated in warm and temperate regions in 69 countries. Sudan, India Tanzania, Myanmar, and Nigeria are top producers with 1119026, 817000, 700000, 641729, and 440000 tonnes of sesame productions, respectively. With 17657 tonnes of sesame production, Türkiye is 34th in the world (FAO, 2023). Breeding studies related to sesame have been conducted in Türkiye (Yılmaz, 2022), however, one of the major biotic stress factors limiting sesame production is charcoal rot disease caused by *Macrophomina phaseolina* (Tassi).

M. phaseolina, the causal agent of charcoal rot disease, is a *cosmopolitan fungus* infecting over 500 plant species (Sarkar et al., 2014), but one of economically important hosts of *M. phaseolina* is sesame (Amen et al., 2020). Incidence of the disease can reach up to 39% in sesame fields (Balabaskar et al., 2015). The disease causes significant yield losses ranging from 30 to 75% in sesame cultivation (Linhai et al., 2011; Min & Toyota, 2019). *M. phaseolina* is a soilborne fungus overwintering in soil or plant debris and penetrates roots and crown. As a result of the infection, blackish microsclerotia occur within vascular bundle and on stem parts of the plant. Microsclerotia can survive in the soil over ten years, making its management difficult (Shekhar et al., 2006; Gupta et al., 2012). For the management of the fungus in sesame cultivation, various studies related to seed treatment (Ahmed et al., 2010), fungicides (Bashir et al., 2017; Karibasappa et al., 2020), soluble silicon (Siddiq et al., 2019), plant extracts (Elaigwu et al., 2017; Savaliya et al., 2015), biofumigation (Amen et al., 2020), intercropping (Ahmed & Ibrahim, 2020), biological control (Radhakrishnan et al., 2017; Abd & AL-Juboory, 2020) and host-resistance (Bedawy & Moharm, 2019; Farooq et al., 2019; Gupta et al., 2020) have been conducted. However, little is known about epidemiology of disease in Türkiye. In this regard, characterization of *Macrophomina phaseolina* isolates may provide new insights into epidemiology and for the management of the charcoal rot in sesame cultivation. Thus, the aims of this study were i) to characterize symptoms of charcoal rot disease in the field (*in vivo*) and ii) to characterize two isolates of *M. phaseolina in vitro*.

MATERIALS and METHODS

Field observations and sampling

In 2017, during surveys, yellowing and wilting symptoms were observed on adult sesame plants in two sesame growing fields in Aksu district of Antalya Province. Four samples from those adult sesame plants showing wilting symptoms were collected and put into paper bags. The samples were brought to the mycology laboratory of Batı Akdeniz Agricultural Research Institute.

Isolation

Stems including crown and roots from wilting plants were initially cleaned. Later, they were chopped to the sizes 1 to 2 cm and soaked in NaOCl 1% for 1.5 minutes and soaked in sterile water. Ensuing drying on filter papers in a laminar flow cabinet, 10 pieces per plate (9 cm) were placed on potato dextrose agar (PDA) and incubated at 25°C for 6 days. Developing fungal colonies on PDA were subcultured.

Identification

Colony growth and morphological features (mycelium and microsclerotium) were examined using

an Olympus BX43 microscope with SC100 digital colour camera. To confirm morphological identification, molecular diagnosis was also done. DNA extractions of two isolates (Aksus1 and Aksus2) were performed using DNA purification kit of Promega. Later, amplifications were done using universal primers ITS-1 (5' TCC GTA GGT GAA CCT GCGG 3') and ITS-4 (5' TCC TCC GCT TAT TGA TATGC 3') (White et al., 1990) in a SimpliAmp Thermocycler (Applied Biosystems, USA). Cycling conditions were one cycle at 94°C for three minutes, thirty-five cycles at 94°C for 30 seconds, at 58.5°C for one minute, at 72°C for one minute and at 72°C for seven minutes. Analysis of sequence was conducted by GENOKS (Ankara, Türkiye). Relatedness of sequences of the two isolates were compared with other sequences displaying a 99 to 100% homology at genbank (NCBI; <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nucleotide/>). As a result, a phylogenetic tree was constructed using neighbor-joining method in MEGA version 10.0 program.

Pathogenicity test

To fulfill Koch's postulates, soil inoculation method was used in the pathogenicity tests. Initially, sorghum seeds were dipped in water in a 2-L beaker for one night and then the seeds were put in 250-mL Erlenmeyer flasks and autoclaved at 121°C for 30 min in two consecutive days. Later, 6 mycelial plugs (0.5 cm) of 5 day-old- colonies of each isolate were transferred to the seeds in each Erlenmeyer flask and incubated at 25°C for 21 days (Iqbal et al., 2010). A mixture of soil and vermiculite (1:1) was autoclaved at 121°C for 1 hour in two consecutive days. The mixture was put into pots (15 x 20 cm). Inoculum (infected seeds) was homogeneously put in the pots (5%). Afterwards, 5 seeds (cv. Munganlı-57) per pot were sown. For control, seeds autoclaved were put into the pots (Omar et al., 2007).

Chlorate sensitivity

To determine chlorate sensitivity of the isolates, minimal medium with the content of 120 mM potassium chlorate (KClO₃) was used. The medium was prepared as described by Pearson et al. (1986). For control, the same medium not containing KClO₃ was adjusted. Mycelial plugs (0.5-cm) of the isolates were attached to the centers of both media and kept at 25°C for 6 days. Colony growths of the isolates on the media were daily recorded. The experimental design was established based on completely randomized design with four replicates.

Temperature tests and statistical analysis

To examine the effects of temperature on colony growth of the isolates, mycelial plugs (0.5 cm) of the isolates were put on PDA and kept at 25, 30, 35 and 40°C for 48 hours. Colony growths of the isolates for each temperature tested were recorded. The experiments were carried out based on the completely randomized design with four replications.

Analysis of variance was performed using SAS 9.1 software program. Averages of microsclerotium length, microsclerotium width, and colony growths of the isolates at different temperatures (25, 30, 35, and 40°C) and minimal medium (potassium chlorate containing and not-containing) in the experiments were grouped according to Fisher's least significant difference test (LSD_{0.01}).

RESULTS and DISCUSSION

Charcoal rot symptoms in the field

In 2017, two sesame growing fields (30 da) in Aksu district of Antalya Province were examined for presence of charcoal rot disease. During the flowering and pod emergence period, on 24 July, nearly 15 to 20% of adults plants in both fields showed wilting and stunting symptoms (Figure 1).



Figure 1. Symptoms of charcoal rot disease on adult sesame plants in the field (Aksu district, Antalya Province).

Şekil 1. Tarlada yetişkin susam bitkilerinde kömür çürüklüğü hastalığının belirtileri (Aksu lokasyonu, Antalya İli).

As the disease progressed, leaf defoliations and then plant deaths with blackening stems were also observed on the symptomatic plants (Figure 2).

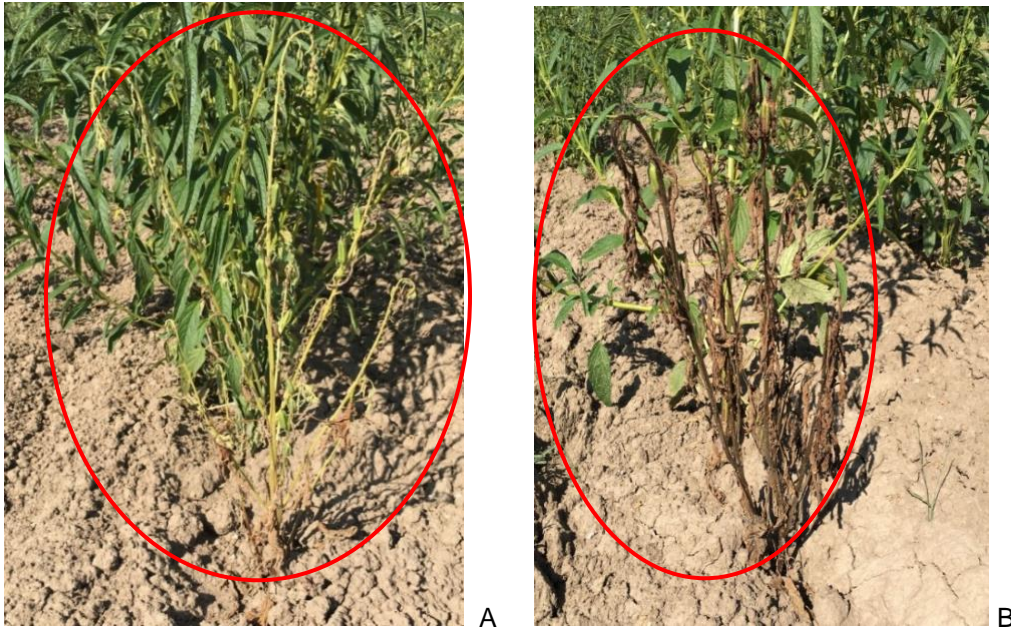


Figure 2. Symptoms of charcoal rot disease on adult sesame plants, (A) Wilting and stunting symptoms of charcoal rot disease on sesame plants, (B) Plant death caused by charcoal rot pathogen (*Macrophomina phaseolina*) in the sesame field.

Şekil 2. Yetişkin susam bitkilerinde kömür çürüklüğü hastalığının belirtileri, (A) Kömür çürüklüğü hastalığının susam bitkilerinde solma ve cüceleşme belirtileri, (B) Susam tarlasında kömür çürüklüğü patojeni (*Macrophomina phaseolina*)'nin neden olduğu bitki ölümü.

In close examination, newly fallen leaves were observed at the beginning of charcoal rot and dry leaves and pods remained on the blacking stems of the adult sesame plants (Figure 3).



Figure 3. Close examination of symptoms of charcoal rot disease on sesame plants in the field, (A) Newly fallen leaves due to charcoal rot disease (with blue arrows) and dry leaves and pods remained on the plant (white arrows), (B) Stem rot caused by *Macrophomina phaseolina* in adult sesame plant.

Şekil 3. Kömür çürüklüğü hastalığının tarlada susam bitkilerindeki belirtilerinin yakın incelemesi, (A) Kömür çürüklüğü hastalığı nedeniyle yeni düşen yapraklar (mavi oklar) ve bitkide kalan kuruyan yapraklar ve kapsüller (beyaz oklar) (B) Yetişkin susam bitkilerinde *Macrophomina phaseolina* 'nın neden olduğu sap çürümesi.

Isolation and identification

As a result of the isolation procedure, two isolates of *Macrophomina phaseolina* were obtained from those symptomatic plants in the field observations. Initially, colonies of both isolates were light in color and then became black. However, colony color of AkSus1 isolate was darker than AkSus2 isolate but aerial mycelium (over 2 mm) of AkSus2 isolate was higher than AkSus1 isolate (Figure 4).

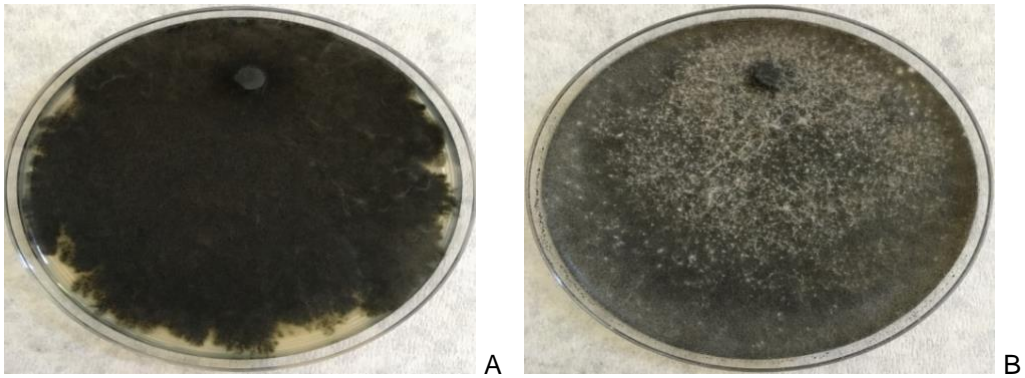


Figure 4. Colony growths (5-day-old) of *Macrophomina phaseolina* isolates on PDA, (A) *M. phaseolina* isolate AkSus1, (B) *M. phaseolina* isolate AkSus2.

Şekil 4. PDA üzerinde *Macrophomina phaseolina* izolatlarının beş günlük koloni gelişmeleri, (A) *M. phaseolina*'nın AkSus1 izolatu, (B) *M. phaseolina*'nın AkSus2 izolatu.

Hyphae of both isolates were brown to black, septated and branched. Microsclerotia were brown and then became brown to black. The microsclerotia of both isolates were irregular, however, they were generally spheroid and oblong. Microsclerotia of AkSus1 and AkSus2 isolates were $34.58 \times 210.04 \mu\text{m}$ (average: $98.61 \times 135.58 \mu\text{m}$) and $37.62 \times 233.68 \mu\text{m}$ (average: $115.45 \times 152.36 \mu\text{m}$) in diameter, respectively (Figure 5). These micromorphological features were similar to those of *Macrophomina phaseolina* (Dhingra & Sinclair, 1978).

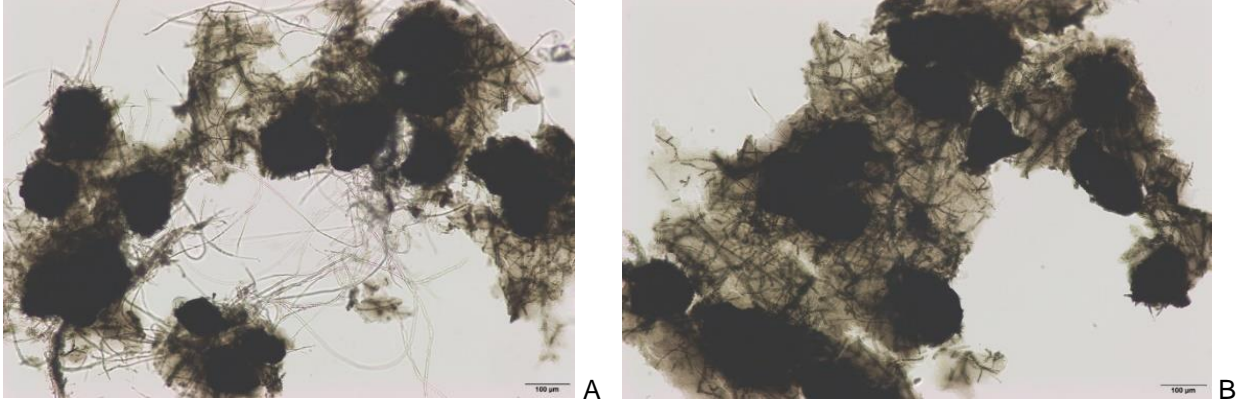


Figure 5. Micromorphological features of both isolates of *Macrophomina phaseolina*, (A) Microsclerotium and mycelium of AkSus1 isolate, (B) Microsclerotium and mycelium of AkSus2 isolate (10 \times).

Şekil 5. Her iki *Macrophomina phaseolina* izolatlarının mikromorfolojik özellikleri, (A) AkSus1 izolatının mikrosklerot ve miselyumu, (B) AkSus2 izolatının mikrosklerot ve miselyumu (10 \times).

Comparing size of both isolates, there were significant ($P < 0.01$) differences in both microsclerotium length and width of the isolates. Microsclerotium size of Aksus2 isolate was significantly bigger than Aksus1 (Figure 6).

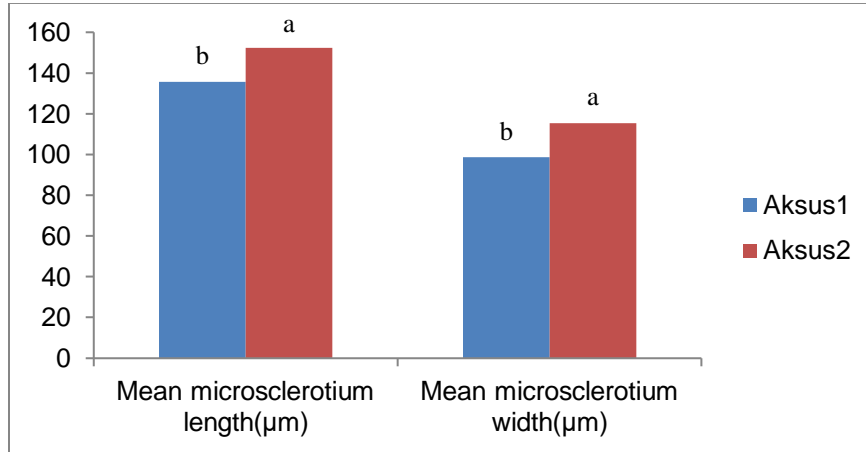


Figure 6. Comparison of microsclerotium sizes of the *M. phaseolina* isolates.

Şekil 6. *M. phaseolina* izolatlarının mikrosklerot büyüklüklerinin kıyaslanması.

Sequence sizes of AkSus1 (acc. no MH593869) and AkSus2 (acc. no MH593870) isolates were 500 and 510 bp respectively and they were registered in the GenBank (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>). Based on the morphological and molecular data, the isolates were identified as *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. In addition, relatedness of the isolates was compared with other *Macrophomina phaseolina* isolates in the Genbank (Figure 7).

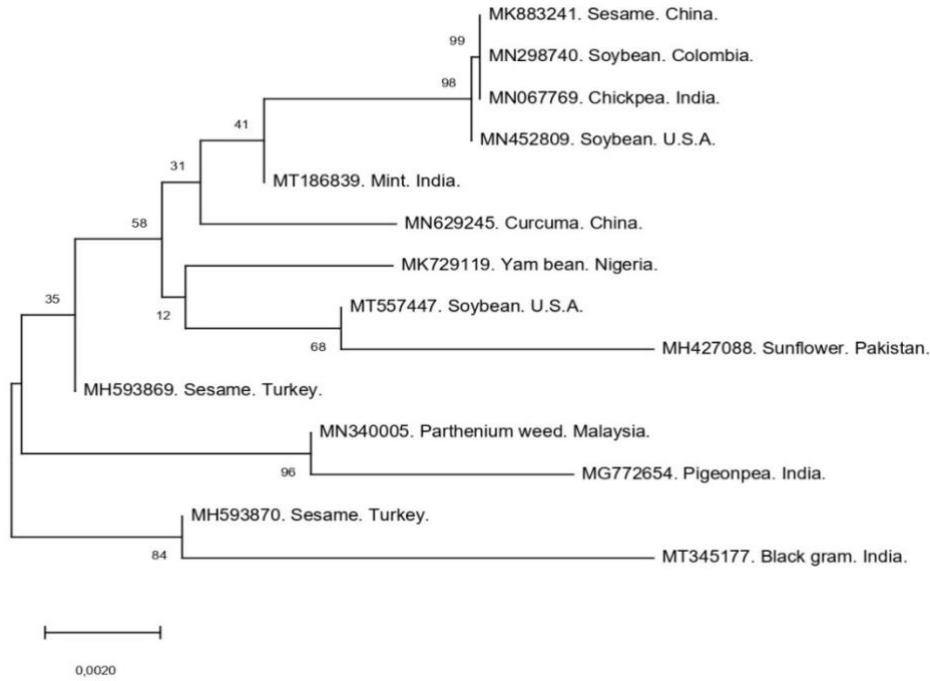


Figure 7. Phylogenetic tree showing relatedness of our *M. phaseolina* isolates (MH593869 and MH593870) with other *Macrophomina phaseolina* isolates in different hosts in the Genbank (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov>).

Şekil 7. *M. phaseolina* izolatlarımızın (MH593869 and MH593870) Gen bankasındaki (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov>) farklı konukçulardaki diğer *M. phaseolina* izolatları ile ilişkisini gösteren filogenetik ağaç.

Pathogenicity tests

As a result of the soil inoculation method, charcoal rot symptoms occurred on seedlings of cv. Munganlı-57 in inoculated pots. Both isolates were re-isolated from stems of the sesame plants in the inoculated pots, fulfilling Koch's postulates (Figure 8).



Figure 8. Pathogenicity test of *Macrophomina phaseolina* in sesame (cv. Munganlı-57), (A) Wilting plants inoculated with *Macrophomina phaseolina*, (B) Stem rot caused by *Macrophomina phaseolina* in inoculated pot.

Şekil 8. *Macrophomina phaseolina* 'nın susamdaki (Munganlı-57 çeşidi) patojenisite testi, (A) *Macrophomina phaseolina* ile inokule edilen bitkilerde solgunluk, (B) İnokuleli saksılarda *Macrophomina phaseolina* nedeni ile oluşan sap çürüklüğü.

Effects of temperature on the isolates of *Macrophomina phaseolina*

In the temperature tests, temperature significantly ($P<0.01$) affected colonial development of both isolates (Table 1).

Table 1. Analysis of variance for effects of temperature on the isolates of *Macrophomina phaseolina in vitro*.

Çizelge 1. *Macrophomina phaseolina* izolatlarına sıcaklık etkisi için varyans analiz tablosu.

Source	D.F.	Mean of squares	F value	P>F
Isolate	1	38.06**	153.60	P<0.01
Temperature	3	637.56**	2572.75	P<0.01
Isolate x Temperature	3	0.64	2.59	0.0760
Error	24	0.247		
Total	31			

CV(%):1.18 D.F. : Degree of freedom

Colony growths of Aksus1 at 25, 30, 35 and 40°C were 37.27, 48.22, 52.65 and 34.10 mm, respectively, while they were 35.72, 46.22, 50.8 and 31.07 mm in the Aksus2 isolate, respectively. Comparing both isolates, colony growths of Aksus1 isolate were significantly ($P<0.01$) faster than Aksus2 isolate at each temperature tested (Figure 9).

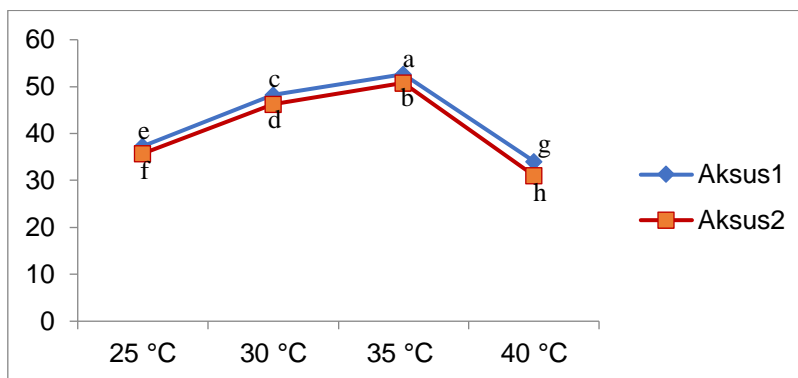


Figure 9. Colony growth (mm) of the isolates of *Macrophomina phaseolina* at 25, 30, 35 and 40°C on PDA for 48 h (LSD_{0.01}: 0.69).

Şekil 9. *Macrophomina phaseolina* izolatlarının PDA'da 25, 30, 35 and 40°C'lerdeki 48 saatlik koloni gelişmesi (mm).

Chlorate sensitivity of the isolates of *Macrophomina phaseolina*

That minimal medium with potassium chlorate significantly ($P<0.01$) affected colonial developments of both isolates. Additionally, isolate, medium and isolate x medium interactions were significant ($P<0.01$) statistically (Table 2).

Table 2. Analysis of variance for chlorate resistance of *Macrophomina phaseolina* isolates.

Çizelge 2. *Macrophomina phaseolina* izolatlarının klorat dayanıklılıkları için varyans analiz tablosu.

Source	D.F.	Mean of squares	F value	P>F
Isolate	1	75.69**	931.57	P<0.01
Medium	1	3214.89**	39567.9	P<0.01
Isolate x Medium	1	28.62**	352.28	P<0.01
Error	12	0.081		
Total	15			

CV (%) : 1.26 D.F. : Degree of freedom.

Colony growths of both isolates on minimal medium were given in figures 10 and 11.

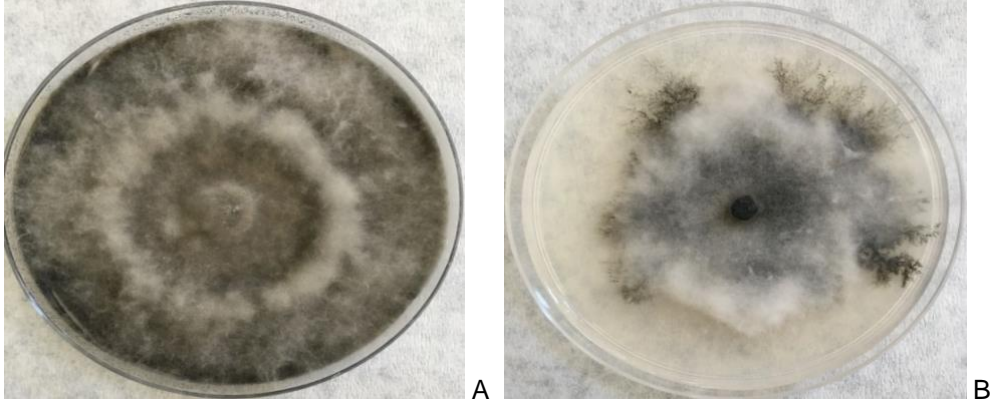


Figure 10. Chlorate sensitivity of *Macrophomina phaseolina* Aksus1 isolate, (A) Colony growth of Aksus1 isolate on minimal medium without potassium chlorate (KClO₃), (B) Feathery growth pattern of Aksus1 isolate on minimal medium with KClO₃.

Şekil 10. *Macrophomina phaseolina* Aksus1 izolatının klorata hassasiyeti A) Aksus1 izolatının potasyum klorat içermeyen minimal ortamda koloni gelişmesi, (B) Aksus1 izolatının potasyum klorat içeren minimal ortamda tüylü gelişme deseni.

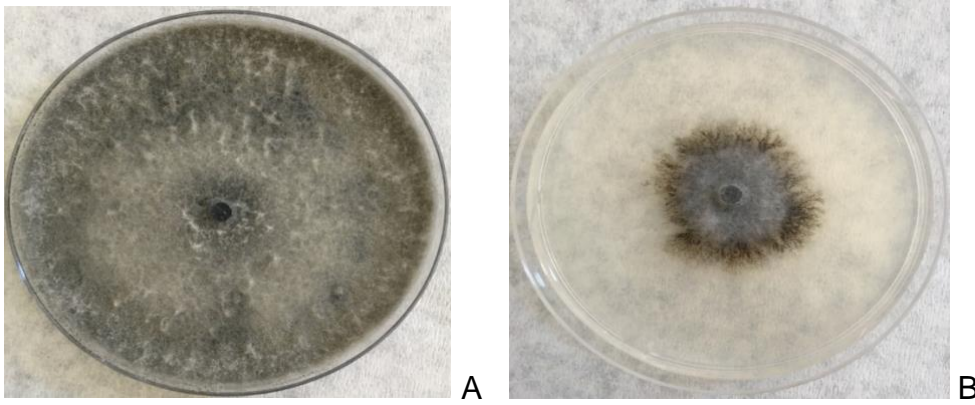


Figure 11. Chlorate sensitivity of *Macrophomina phaseolina* Aksus2 isolate, (A) Colony growth of Aksus2 isolate on minimal medium without KClO₃, (B) Restricted growth pattern of Aksus2 isolate on minimal medium with KClO₃.

Şekil 11. *Macrophomina phaseolina* Aksus2 izolatının klorata hassasiyeti A) Aksus2 izolatının potasyum klorat içermeyen minimal ortamda koloni gelişmesi, (B) Aksus2 izolatının potasyum klorat içeren minimal ortamda kısıtlı gelişme deseni.

Both isolates were characterized as chlorate-sensitive. Aksus1 isolate displayed a feathery growth pattern on minimal medium containing potassium chlorate, while Aksus2 isolate showed a restricted growth pattern on minimal medium containing potassium chlorate. The differences in their colony growths were statistically significant ($P < 0.01$). However, the colonial development of Aksus1 isolate on the minimal medium without KClO₃ was 37.60 mm, whereas it was 35.92 mm in Aksus2 isolate (Figure 12).

Karibasappa et al. (2020) reported that after flowering period sudden wilting was the most common symptoms of charcoal rot of sesame and stems became black in severe infections caused by *M. phaseolina*. Likewise, in the present study, during flowering and pod emergence period, on 24 July, wilting and stunting symptoms were observed. As the disease progressed stem discolorations on adult plants bearing most of the leaves and pods were also observed. In addition, leaf defoliations were detected. In fact, these symptoms expressed by the sesame plants might be related to the disease severity of the charcoal rot. Apart from this, environmental factors such as temperature and relative humidity may play an important role in the disease severity of charcoal rot of sesame. However, there is limited information available about them. In this regard, Deepthi et al. (2014) stated that increasing

temperature and decreasing relative humidity were closely associated with lesion sizes caused by *M. phaseolina* on sesame. Considering environmental conditions prevailing at growing season of sesame, the Mediterranean climate (mean maximum temperature ranging from 21.4 to 34.1°C) prevailing in Antalya province may serve as an ideal condition for charcoal rot disease (Anonymous, 2023a, b), implying that the disease may cause serious economic damages to sesame production in the region. Likewise, Karibasappa et al. (2018) underscored that charcoal rot of sesame decreases yield a greater extent in high-temperature areas. Moreover, growing conditions like irrigation may play a role in the disease development. In this context, it was reported that sesame cultivated under rainfed conditions displayed more charcoal rot incidence than that of under irrigated conditions (Balabaskar et al., 2015).

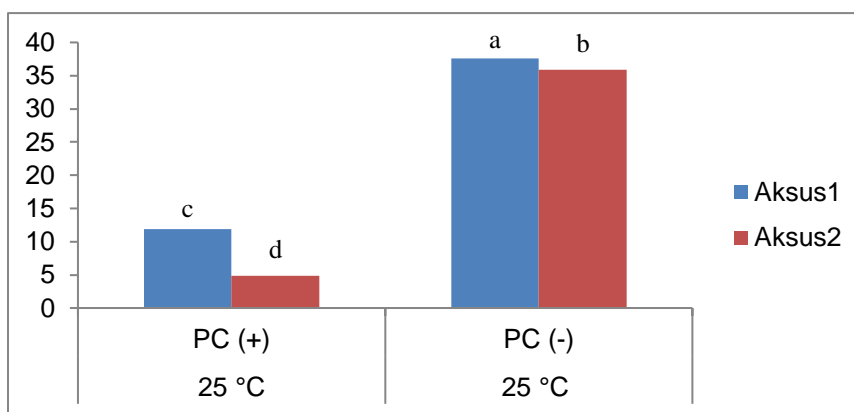


Figure 12. Colony growths of the isolates of *Macrophomina phaseolina* on minimal medium containing potassium chlorate (PC+) and without potassium chlorate (PC-) at 25°C for 48 h (LSD_{0.01}:0.43).

Şekil 12. *Macrophomina phaseolina* izolatlarının potasyum klorat içeren (PC+) ve potasyum klorat içermeyen (PC-) minimal ortamında 25°C'de 48 saat sonra koloni gelişmeleri.

Comparing the isolates, the highest colony growths were detected at 35°C, whereas the lowest ones were determined at 40°C in the present study. With regard to colony growth of *M. phaseolina*, in a study, *M. phaseolina* isolates from sunflower in the mideast and southern part of Italy grew better at temperatures ranging from 30 to 35° but their growth were the weakest at 15 and 40°C (Manici et al., 1995). In this regard, Akhtar et al. (2011) reported that temperatures varying from 30 to 35°C was optimum for mycelial growth and microsclerotium production of *M. phaseolina* isolates of sesame in Pakistan.

With regard to genetic relatedness, both isolates were on different clades in the phylogenetic tree in the present study, indicating genetic diversity of *M. phaseolina* isolates even if taken in the same location. In this regard, Salahlou et al. (2016) reported that there was a high genetic diversity among *M. phaseolina* isolates of sesame. In fact, genetic diversity may not be related to the origin of isolates or hosts. Likewise, Sarr et al. (2014) found no correlation among genotype, host and geographic location of 189 *M. phaseolina* isolates from different hosts and countries. As a result of the genetic diversity, micromorphological features such as microsclerotium size, colony growth and chlorate sensitivity might be variable among *M. phaseolina* isolates. In the present study, we found significant differences in microsclerotium sizes of the isolates. Similarly, differences in colony growths of the isolates were also significant, implying virulence differences as well. In this regard, Vinothini et al. (2020) found that virulence of *M. phaseolina* isolates was positively correlated with their growth rate. In the present study, both isolates of *M. phaseolina* exhibited a chlorate sensitive phenotype and there was no any pycnidia on the plant tissues showing the disease symptoms. Likewise, Mihail & Taylor (1995) reported that *M. phaseolina* isolates displaying chlorate sensitive phenotype did not form or rarely formed pycnidia on the host tissues, corroborating our field observations.

CONCLUSION

To the best of our knowledge, this is the first detailed characterization of charcoal rot symptoms on sesame in the field in the Western Mediterranean region of Türkiye. In addition, the present study provided new insights into epidemiology of the charcoal rot disease. However, further studies regarding control of the disease are needed to mitigate the damage caused by charcoal rot pathogen in sesame cultivation areas.

Data Availability

Data will be made available upon reasonable request.

Author Contributions

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

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 specific funding.

Article Description

This article was edited by Editor Prof. Dr. Galip KAŞKAVALCI.

REFERENCES

- Abd, S.W. & H.H. AL-Juboory, 2020. Evaluation of the activity of *Bacillus subtilis* and actinomyces sp. against *Macrophomina phaseolina* (TASSI) GOID. causative agent of charcoal rot on sesame. Plant Archives, 20 (1): 2343-2348.
- Ahmed, H.A.M., A.A. Abdel-Razik, M.H.A. Hassan & S.A. Khaled, 2010. Management of charcoal rot of sesame by seed soaking in medicinal plant extracts and hot water. The Plant Pathology Journal, 26 (4): 372-379.
- Ahmed, N.R. & M.M.A. Ibrahim, 2020. Influence of intercropping legume fodder crop guar with sesame for reducing charcoal-rot and wilt disease complex concerning to its yield and yield components. Annals of Agricultural Science, Moshtohor, 58 (3): 541-552.
- Akhtar, K.P., G. Sarwar & H.M.I. Arshad, 2011. Temperature response, pathogenicity, seed infection and mutant evaluation against *Macrophomina phaseolina* causing charcoal rot disease of sesame. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 44 (4): 320-330.
- Amen, S.G., A.A. El-Sharawy, T.H.A. Hassan & M.Y. Abdalla, 2020. Use of biofumigation for controlling sesame root rot in North Sinai. Asian Journal of Plant Pathology, 14 (1): 21-26.
- Anonymous, 2023a. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. Resmi İstatistikler. (Web page: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=>) (Date accessed: November 2023).
- Anonymous, 2023b. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (Web page: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ANTALYA>) (Date accessed: November 2023).
- Balabaskar, P., P. Renganathan & K. Sanjeevkumar, 2015. Occurrence of sesame root rot disease in Cuddalore district of Tamil Nadu and analysis of the variability in cultural characteristics and pathogenicity among isolates of *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. European Journal of Biotechnology and Bioscience, 3 (8): 55-59.
- Bashir, M.R., A. Mahmood, M. Sajid, M.A. Zeshan, M. Mohsan, Q.A.T. Khan & F.A. Tahir, 2017. Exploitation of new chemistry fungicides against charcoal rot of sesame caused by *Macrophomina phaseolina* in Pakistan. Pakistan Journal of Phytopathology, 29 (2): 257-263.

- Bedawy, I. & M. Moharm, 2019. Reaction and performance of some sesame genotypes for resistance to *Macrophomina phaseolina*, the incitant of charcoal rot disease. Alexandria Science Exchange Journal, 40 (1): 12-18.
- Deepthi, P., C.S. Shukla, K.P. Verma & E. Siva Sankar Reddy, 2014. Yield loss assessment and influence of temperature and relative humidity on charcoal rot development in sesame (*Sesamum indicum* L.). The Bioscan, 9 (1): 193-195.
- Dhingra, O.D. & J.B. Sinclair, 1978. Biology and Pathology of *Macrophomina phaseolina*. Viçosa/MG, Brasil. UFV, Imprensa Universitaria, 166 pp.
- Elaigwu, M., H.O.A. Oluma & D.I. Ochokwunu, 2017. *In vivo* and *in vitro* activities of some plant extracts on *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid- the causal agent of charcoal rot of sesame in Benue State, Nigeria. International Journal of Science and Research Methodology, 5 (4): 23-39.
- FAO, 2023. FAOSTAT. (Web page: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>) (Date accessed: November, 2023).
- Farooq, S., A. Mohyo-Ud-Din, S. Naz, M. Siddique & S.N. Khan, 2019. Screening of sesame (*Sesamum indicum* L.) germplasms for resistance against charcoal rot disease caused by *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. International Journal of Biology and Biotechnology, 16 (2): 407-410.
- Gupta, G.K., S.K. Sharma & R. Ramteke, 2012. Biology, epidemiology and management of the pathogenic fungus *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid with special reference to charcoal rot of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). Journal of Phytopathology, 160 (4): 167-180.
- Gupta, R.N., H.S. Saharan, A.S. Rathi & R. Avtar, 2020. Identification of resistance sources against charcoal rot of sesame incited by *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 9 (2): 1795-1801.
- Iqbal, U., T. Mukhtar, S. Muhammad, I.U.H. Iqbal & S.R. Malik, 2010. Host plant resistance in blackgram against charcoal rot (*Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid). Pakistan Journal of Phytopathology, 22 (2): 126-129.
- Karibasappa, C.S., B.N. Bhat & S.C. Rao, 2018. Survey for the disease incidence of root rot of sesame caused by *Macrophomina phaseolina* (Tassi.) Goid, in major sesame growing areas of Telangana. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 7 (6): 655-657.
- Karibasappa, C.S., B.N. Bhat, & S.C. Rao, 2020. Evaluation of fungicides against *Macrophomina phaseolina* inciting root rot of sesame. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 9 (4): 1293-1299.
- Linhai, W., Z. Yanxin, L. Donghua, H. Junbin, W. Wenliang, L. Haixia & Z. Xiurong, 2011. Variations in the isolates of *Macrophomina phaseolina* from sesame in China based on amplified fragment length polymorphism (AFLP) and pathogenicity. African Journal of Microbiology Research, 5 (31): 5584-5590.
- Manici, L.M., F. Caputo & C. Cerato, 1995. Temperature responses of isolates of *Macrophomina phaseolina* from different climate regions of sunflower production in Italy. Plant Disease, 79 (8): 834-838.
- Mihail, J.D. & S.J. Taylor, 1995. Interpreting variability among isolates of *Macrophomina phaseolina* in pathogenicity, pycnidium production, and chlorate utilization. Canadian Journal of Botany, 73 (10): 1596-1603.
- Min, Y.Y. & K. Toyota, 2019. Occurrence of different kinds of diseases in sesame cultivation in Myanmar and their impact to sesame yield. Journal of Experimental Agriculture International, 38 (4): 1-9.
- Nayar, N.M. & K.L. Mehra, 1970. Sesame: its uses, botany, cytogenetics, and origin. Economic Botany, 24 (1): 20-31.
- Omar, M.R., K.A. Abd-Elsalam, A.A. Aly, A.M.A. El-Samawaty & J.-A. Verreet, 2007. Diversity of *Macrophomina phaseolina* from cotton in Egypt: Analysis of pathogenicity, chlorate phenotypes, and molecular characterization. Journal of Plant Diseases and Protection, 114 (5): 196-204.
- Pearson, C.A.S., J.F. Leslie & F.W. Schwenk, 1986. Variable chlorate resistance in *Macrophomina phaseolina* from corn, soybean and soil. Phytopathology, 76 (6): 646-649.
- Radhakrishnan, R., R. Sathasivam, R.L. Rengarajan, A. Hashem & E.F. Abd_Allah, 2017. Isolation and identification of charcoal rot disease causing agent in sesame (*Sesamum indicum* L.) and their growth inhibition by bacillus methylotrophicus KE2. Pakistan Journal of Botany, 49 (6): 2495-2497.
- Ram, R., D. Catlin, J. Romero & C. Cowley, 1990. "Sesame: New Approaches for Crop Improvement, 225-228 ". In: Advances in New Crops (Eds. J. Janick & J.E. Simon) Timber Press, Portland, OR, 560 pp.
- Salahlou, R., N. Safaie & M. Shams-Bakhsh, 2016. Genetic diversity of *Macrophomina phaseolina* populations, the causal agent of sesame charcoal rot using inter-simple sequence repeat markers. Journal of Agricultural Science and Technology, 18 (1): 277-287.

- Sarkar, T.S., P. Biswas, S.K. Ghosh & S. Ghosh, 2014. Nitric oxide production by necrotrophic pathogen *Macrophomina phaseolina* and the host plant in charcoal rot disease of jute: Complexity of the interplay between necrotroph-host plant interactions. Plos One, 9: e107348.
- Sarr, M.P., M. Ndiaye, J. Groenewald & P. Crous, 2014. Genetic diversity in *Macrophomina phaseolina*, the causal agent of charcoal rot. Phytopathologia Mediterranea, 53 (2): 250-268.
- Savaliya, V.A., C.M. Bhaliya, P.B. Marviyaand & L.F. Akbari, 2015. Evaluation of phytoextracts against *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid causing root rot of sesame. JBiopest, 8 (2): 116-119.
- Shekhar, M., R.C. Sharma, L. Singh & R. Dutta, 2006. Morphological and pathogenic variability of *Macrophomina phaseolina* (Tassi.) Goid. incitant of charcoal rot of maize in India. Indian Phytopathology, 59 (3): 294-298.
- Siddiq, J.A., K. Kalpana, E.G. Ebenezar & C. Chinniah, 2019. *In vitro* efficacy of soluble silicon against sesame (*Sesamum indicum* L.) charcoal rot disease caused by *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 8 (3): 3532-3536.
- Vinothini, K., P. Renganathan, P. Balabaskar & T. Sivakumar, 2020. Occurrence of root rot incidence of sesame and assessment of cultural and pathogenic variability among isolates of *Macrophomina phaseolina*. Plant Archives, 20 (1): 1923-1928.
- White, T.J., T. Bruns, S. Lee & J.W. Taylor, 1990. "Amplification and Direct Sequencing of Fungal Ribosomal RNA Genes for Phylogenetics, 315-322". In: PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications (Eds. M.A. Innis & D.H Gelfand), Academic Press, Inc. New York, 482 pp.
- Yılmaz, M., 2022. Bazı susam (*Sesamum indicum* L.) genotiplerinin Doğu Akdeniz geçit koşullarında verim ve verim unsurlarının belirlenmesi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 59 (4): 708-714.

Research Article
(Araştırma Makalesi)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2024, 61 (2):165-174

<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1358246>

Muhammad FARIED¹ 

Elkawakib SYAM'UN^{1*} 

Abdul JALIL² 

Cennawati CENNAWATI² 

Padil P. WIJAYA² 

Remi Widana PUTRI² 

¹ Hasanuddin University, Faculty of Agriculture, Department of Agronomy, 90245, Makassar, South Sulawesi, Indonesia

² Hasanuddin University, Faculty of Agriculture, Agrotechnology Master Program, 90245, Makassar, South Sulawesi, Indonesia

* Corresponding author (Sorumlu yazar):

elkawakibsyam@gmail.com

Keywords: Botanical seed, frequency, seedling, shallot, pruning

Anahtar sözcükler: Botanik tohumu, sıklık, fide, şalot soğanı, budama

Can pruning affect the growth of shallot (*Allium ascalonicum* L.) seedlings from seeds?

Budama tohum kaynaklı şalot soğanı (*Allium ascalonicum* L.) fidelerinin büyümesini etkileyebilir mi?

Received (Alınış): 13.09.2023

Accepted (Kabul Tarihi): 23.04.2024

ABSTRACT

Objective: This study aims to reveal whether pruning affects the growth of shallot seedlings from seeds, evaluated based on the use of several varieties and the frequency of pruning during nurseries.

Materials and Methods: This research was conducted at the Teaching Farm, Faculty of Agriculture, Hasanuddin University, from August to September 2023. This study was arranged in a randomized block design with two factors. The first factor is shallot varieties of Sanren F1, Lokananta, and Maserati. The second factor is the pruning frequency (days after sowing) consisting of one time (25 DAS), two times (25 and 30 DAS), and three times (25, 30, and 35 DAS).

Results: The Maserati variety had the highest average number of leaves and the highest average number of root tips, the Lokananta variety had the largest average pseudo stem diameter and the heaviest fresh and dry weight of seedlings, and the Sanren F1 variety had the most extended average root length. Pruning with a frequency of three times consistently increases the growth of shallot seedlings, such as number of leaves, pseudo stem diameter, root length, number of root tips, fresh and dry weight of seedlings.

Conclusion: Pruning frequency and varieties have an influence on the growth of shallot seedlings. Pruning three times can increase the growth of seedlings linearly.

ÖZ

Amaç: Bu çalışma, fidanlıkarda çeşitli çeşitlerin kullanımı ve budama sıklığına göre değerlendirilerek budamanın şalot soğanı fidelerinin tohumdan gelişimini etkileyip etkilemediğini ortaya çıkarmayı amaçlamaktadır.

Materyal ve Yöntem: Bu araştırma Hasanuddin Üniversitesi Ziraat Fakültesi Öğretim Çiftliği'nde Ağustos-Eylül 2023 tarihleri arasında gerçekleştirildi. Bu çalışma iki faktörlü tesadüf blokları tasarımında düzenlenmiştir. Birinci faktör Sanren F1, Lokananta ve Maserati'nin şalot soğanı çeşitleridir. İkinci faktör ise bir defa (25 DAS), iki defa (25 ve 30 DAS) ve üç defadan (25, 30 ve 35 DAS) oluşan budama sıklığıdır (ekimden sonraki gün).

Araştırma Bulguları: Maserati çeşidi en yüksek ortalama yaprak sayısına ve en yüksek ortalama kök ucu sayısına sahiptir, Lokananta çeşidi en büyük ortalama yalancı övde çapına ve en ağır fide taze ve kuru ağırlığına sahipti ve Sanren F1 çeşidi ise en geniş ortalama kök uzunluğuna sahiptir. Üç kat sıklıkta budama, şalot soğanı fidelerinin yaprak sayısı, yalancı gövde çapı, kök uzunluğu, kök ucu sayısı, fidenin taze ve kuru ağırlığı gibi büyümelerini tutarlı bir şekilde artırır

Sonuç: Budama sıklığı ve çeşitleri şalot soğanı fidelerinin büyümesine etki etmektedir. Üç kez budamak fidelerin büyümesini doğrusal olarak arttırabilir.

INTRODUCTION

Shallot (*Allium ascalonicum* L.) is a plant that is widely grown in Southeast Asia and several African countries. Shallots are an important horticultural product because they are consumed daily by every family. Furthermore, shallots contain multivitamins, minerals, and antioxidants. As a result, in addition to being used as a spice, this plant is used as a supplement to lower the risk of cancer, manage diabetes, improve heart health, boost immunity, and prevent obesity (Sun et al., 2019).

Shallot production must be maintained and needs to be increased every time. One of the efforts to increase shallot production is using botanical seeds as planting material. The growth and quality of seedlings is an essential factor in plant cultivation. True shallot seeds (TSS) are more efficient because they are only required in small quantities, specifically 4-6 kg ha⁻¹, as opposed to 1-1.5 t ha⁻¹ for seeds from bulbs. Because TSS is free of diseases typically found in seed bulbs, using it as seeds in shallot production is more effective and healthier. Shallot seeds have an excellent yield potential when used as planting material. Numerous TSS studies have been conducted with varying degrees of success. TSS treated with various planting methods on sub-optimal land had productivity of 11.67 to 17.48 t ha⁻¹. Moreover, using various sowing methods, TSS can achieve productivity between 11.79 and 15.89 t ha⁻¹ (Sopha et al., 2016, 2017).

On the other hand, farmers do not use seeds as planting material because they require a long nursery time (40-45 days), and the percentage of seedlings that survive after transplanting is relatively low (Rosliani et al., 2022). In addition, the percentage of seedlings that grew after transplanting just ranged from 83% to 91% (Sumarno et al., 2021). Therefore, it is vital to increase the growth and quality of seedlings.

Improved seedling growth and quality reflect growth and production in the field. High-quality seedlings have characteristics such as healthy leaves, good morphology, optimal root growth, no shortage of nutrients, and being free from pests and diseases (Kubota et al., 2013). Good seedlings must also have balanced growth between shoots and roots, which is essential in vegetable production (Tuzel et al., 2015). One of the efforts to improve the growth and quality of shallot seedlings from seeds is pruning. Pruning is removing or removing some parts of plants that are not needed (Sukmawati et al., 2018). Pruning is a common thing to do on annual plants or trees. Pruning balances the vegetative and generative growth of plants and the distribution of nutrients and hormones in plants (Thakur et al., 2018; Zhang et al., 2018).

Several studies have linked the positive impact of pruning or leaf removal on crop growth and production. Research by Novianti & Setiawan (2018) revealed that pruning sweet potato plants can increase vegetative growth. Furthermore, Busri et al. (2018) showed that treatment by removing several plant leaves or leaf defoliation on cabbage plants could increase the weight and diameter of cabbage heads. Then, Adu-Yeboah et al. (2016) showed a positive effect of pruning on cashew nut (*Anacardium occidentale* L.) plants. Pruning leaves, shoots, and stems also influences the growth and production of tomato and cucumber plants (Mardhiana et al., 2017; Ayala-Tafoya et al., 2019; Lhamo et al., 2022).

In general, pruning shallot seedlings from seeds was done before transplanting. Pruning leaves aims to reduce water loss due to transpiration (Naidu & Jones, 2009). However, the effect of pruning on the growth of shallot seedlings in the nursery process is uncertain. Therefore, this study aims to reveal whether pruning affects the growth of shallot seedlings from seeds, evaluated based on the use of several varieties and the frequency of pruning during nurseries.

MATERIALS and METHODS

Study area

This research was conducted at the Teaching Farm, Faculty of Agriculture, Hasanuddin University. The nursery beds are made in a greenhouse with a 14% UV plastic roof. The research starts from August to September 2023.

Experimental design

This study was conducted in a randomized block design with two factors. The first factor is shallot varieties of Sanren F1, Lokananta, and Maserati. The second factor is the pruning frequency (the day after sowing) consisting of one time (25 DAS), two times (25 and 30 DAS), and three times (25, 30, and 35 DAS). The two treatment factors resulted in 9 treatment combinations repeated three times, so there were 27 observation units.

Bed preparation and sowing

Beds are made with a size of 1 × 1 meter, with a height of 30 cm. The beds were then applied with chicken manure equivalent to 10 t ha⁻¹. Then, a 0.9-meter-wide seedling furrow was made with a depth of 1 cm and 10 cm between furrows. A total of 0.5 g of seed is sown per furrow. The seeds that have been sown are then cared for until they are 45 days old.

Pruning techniques

Pruning is done by cutting 25% of the total length of the leaves. Pruning is done in the morning using scissors. The rest of the pruning is then cleaned and separated from the beds.

Data collection

Parameters observed in this study were the number of leaves, pseudo stem diameter (mm), root length (cm), number of root tips, seedling fresh weight, and seedling dry weight. The number of plants used as samples is five seedlings per treatment in each replication. Parameter measurements were carried out at the age of 45 DAS. Pseudo stem diameter was measured using a caliper, root length was measured with a ruler and fresh and dry weights of seedlings were measured with a digital scale. Dry weight was measured after the seedlings were dried in an oven at 120°C for 24 hours.

Data analysis

Data were analyzed with RStudio software. A two-way analysis of variance (ANOVA) was used to perform statistical analysis, with a p-value of 0.05 considered significant. The mean comparison was performed by Duncan multiple range test.

RESULTS and DISCUSSION

Aerial Parts

Based on the analysis of variance, it was shown that there was no interaction between varieties and the frequency of pruning on the average number of leaves and pseudostem diameter of shallot seedlings. However, each treatment factor significantly affected both parameters (Table 1). The Maserati variety recorded the highest average number of leaves (3.87) compared to the Lokananta and Sanren F1 varieties. Then, the Lokananta variety recorded the widest average pseudo stem diameter (4.24 mm) compared to the other two varieties. The pruning treatment showed that pruning shallot seedlings with a frequency of three times (25, 30, and 35 DAS) recorded the highest average number of leaves (4.11) and the broadest pseudo stem diameter (4.69 mm) compared to one and two pruning frequencies times.

There is a difference in the average number of leaves and pseudo stem diameter of shallot seedlings because of the different varieties used. In general, the three varieties have different characters. The Maserati variety has the highest average number of leaves, while the Lokananta variety has the widest average diameter of the pseudo stem. This difference is, of course, caused by the genetic factors of each variety. Alemu et al. (2022) found different effects on onion varieties regarding growth characteristics such as plant height and number of leaves.

Table 1. The effect of variety and pruning frequency on mean number of leaves and pseudo stem diameter (cm)**Çizelge 1.** Çeşit ve budama sıklığının ortalama yaprak sayısı ve yalancı gövde çapına (cm) etkisi

Variety	Number of Leaves	Pseudo Stem Diameter (mm)
Sanren F1	3.38±0.14 ^b	3.49±0.46 ^b
Lokananta	3.76±0.32 ^a	4.24±0.56 ^a
Maserati	3.87±0.34 ^a	3.78±0.50 ^b
Pruning Frequency	Number of Leaves	Pseudo Stem Diameter (mm)
One time (25 DAS)	3.22±0.02 ^c	2.93±0.13 ^c
Two times (25 and 30 DAS)	3.67±0.25 ^b	3.90±0.28 ^b
Three times (25, 30, and 35 DAS)	4.11±0.22 ^a	4.69±0.23 ^a

* Means followed by the same letter are not significantly different for $p \leq 0.05$ according to Duncan multiple range test. (DAS) days after sowing.

Three times of pruning, they significantly affected the average number of leaves and stem diameter of shallot seedlings. Pruning part of the leaves stimulates the growth of new leaves, so the more often they are pruned, the potential for new leaves to emerge increases. Then, the increase in the diameter of the pseudo stem is also due to the reduced allocation of assimilates in the leaves, so that the pseudo stem, which will become the forerunner of bulbs, gets bigger. Aragle et al. (2023) stated that the age of the shallot seedlings significantly affected plant performance in the field. Seedlings with optimal vigor are certainly influenced by active growth, including the growth of the pseudo stems of the seedlings. In addition, an increase in the number of leaves certainly increases the capacity of plants to form and assimilate so that the potential for forming new leaves can occur.

Aboveground Parts

Based on the analysis of variance, it was shown that there was no interaction between varieties and pruning frequency on the average root length and number of root tips in shallot seedlings. However, each treatment factor significantly affected both parameters (Table 2). The Sanren F1 variety recorded the most extended average root length (3.69 cm) compared to the Lokananta and Maserati varieties. Then, the Maserati variety recorded the highest average number of root tips (11.20) compared to the other two varieties. The pruning treatment showed that pruning shallot seedlings with a frequency of three times (25, 30, and 35 DAS) recorded the most extended root length (4.35 cm) and the highest number of root tips (12.31) compared to one and two pruning frequencies time.

Table 2. The effect of variety and pruning frequency on mean root length (cm) and number of root tips**Çizelge 2.** Çeşit ve budama sıklığının ortalama kök uzunluğu (cm) ve kök ucu sayısına etkisi

Variety	Root Length (cm)	Number of Root Tips
Sanren F1	3.69±0.62 ^a	11.04±1.00 ^a
Lokananta	3.57±0.58 ^a	10.73±0.63 ^a
Maserati	2.78±0.39 ^b	11.20±1.13 ^a
Pruning Frequencies	Root Length (cm)	Number of Root Tips
One time (25 DAS)	2.51±0.19 ^c	9.62±0.44 ^c
Two times (25 and 30 DAS)	3.20±0.25 ^b	11.04±0.73 ^b
Three times (25, 30, and 35 DAS)	4.35±0.42 ^a	12.31±0.44 ^a

* Means followed by the same letter are not significantly different for $p \leq 0.05$ according to Duncan multiple range test. (DAS) days after sowing.

The Sanren F1 variety has the longest roots, while the Maserati has the greatest number of root tips. The growth of plant roots becomes dominant due to the pruning of leaves. The more often it is pruned, the more significant root growth will be. Pruning leaves on scallions can stimulate the growth of new shoots and roots (Kahar et al., 2022). This, of course, will improve the ratio of plant shoots and roots. This was also stated by Carrilo et al. (2011), who stated that pruning of plants will affect the ratio of shoots and roots. Takoutsing et al. (2013) also pointed out the importance of the ratio of shoots and roots. If leaf growth is more dominant than roots, the potential for plant seedlings to survive in the field is lower.

Seedling Biomass

Based on the analysis of variance, it was shown that there was no interaction between varieties and pruning frequency on the average of fresh and dry weight on shallot seedlings. However, each treatment factor significantly affected both parameters (Table 3). The Lokananta variety recorded the heaviest fresh and dry seed weights, namely 1.50 g and 0.61 g respectively, which was not significantly different from Maserati. Pruning with a frequency of three times recorded the heaviest fresh and dry weights of seedlings, namely 2.12 g and 0.88 g respectively, which was significantly different from pruning twice and once.

Table 3. The effect of variety and pruning frequency on fresh and dry weight of seedlings

Çizelge 3. Çeşit ve budama sıklığının fide yaş ve kuru ağırlığına etkisi

Variety	Fresh Weight of Seedling (g)	Dry Weight of Seedling (g)
Sanren F1	1,15±0.27 ^b	0.52±0.11 ^a
Lokananta	1,50±0.43 ^a	0.61±0.18 ^a
Maserati	1,38±0.50 ^a	0.58±0.17 ^a
Pruning Frequencies	Fresh Weight of Seedling (g)	Dry Weight of Seedling (g)
One time (25 DAS)	0.80±0.04 ^c	0.36±0.01 ^c
Two times (25 and 30 DAS)	1.11±0.04 ^b	0.48±0.02 ^b
Three times (25, 30, and 35 DAS)	2.12±0.25 ^a	0.88±0.07 ^a

* Means followed by the same letter are not significantly different for $p \leq 0.05$ according to Duncan multiple range test. (DAS) days after sowing.

Pruning is vital in accumulating assimilates in all parts of the plant. Several previous researchers also found increased plant biomass. Research conducted by Parthey (2010) also found a significant effect of pruning on increasing biomass in *Tithonia diversifolia* plants. However, different results were found by Makhubedu et al. (2022), who showed that pruning with a high frequency would reduce the capacity of the *Sesbania sesban* plant to form assimilates, which would result in a decrease in plant biomass.

Relation Between Pruning Frequency and Parameters

Pruning frequency generally affected all observed parameters, including the number of leaves, diameter of pseudo stems, root length, number of root tips, and fresh and dry weight of seedlings (Figure 1). The coefficient of determination (R^2) between pruning frequency and these parameters ranges from 0.91 to 1.00. This shows that there is a close relationship between the two variables. Pruning affected stomatal conductivity, quantum yield values, leaf chlorophyll content (a, b and total), net photosynthesis (Saifuddin et al., 2010; Maurin & DesRochers, 2013).

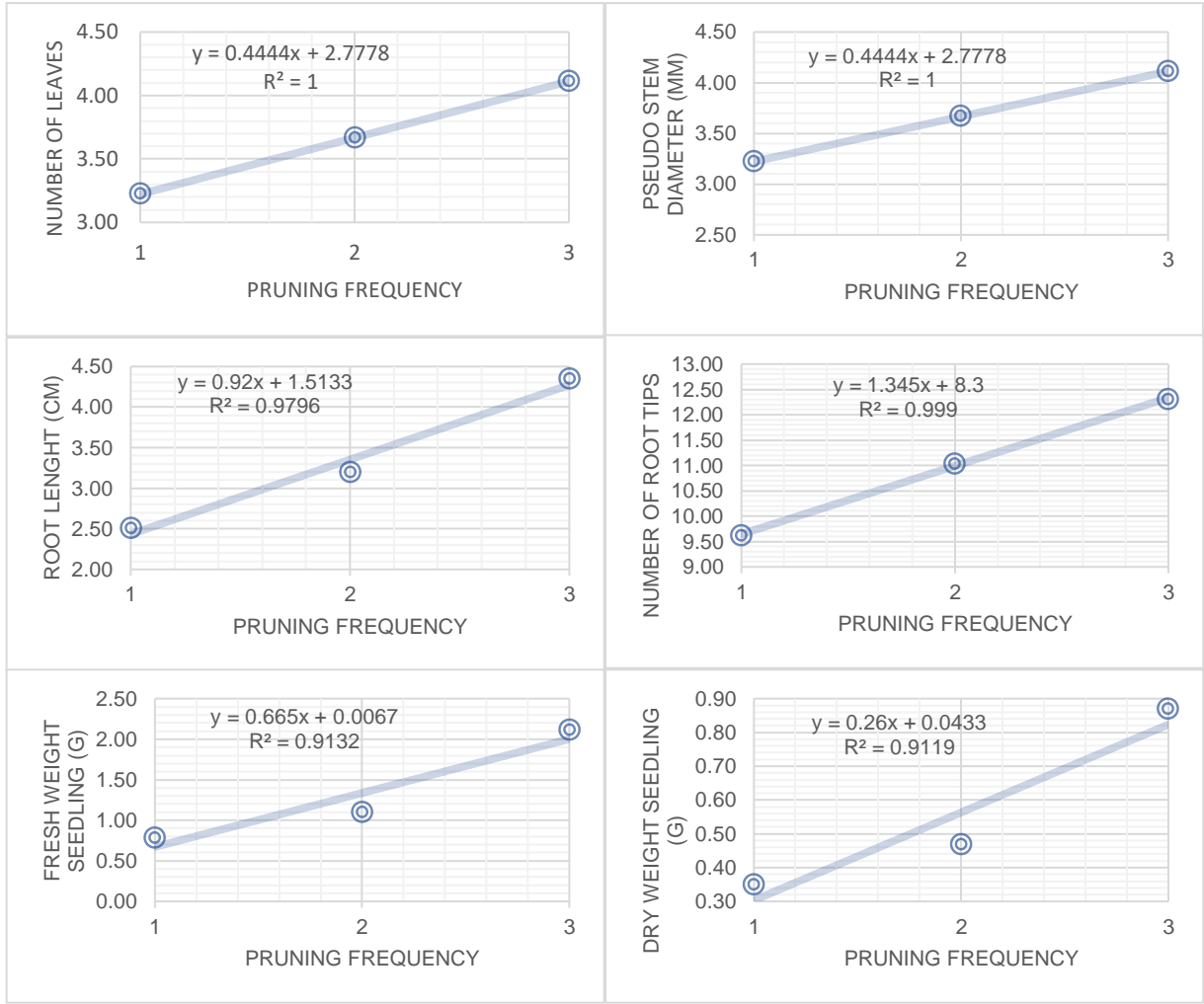


Figure 1. Linear regression equation between pruning frequency and parameters. Number of leaves (A), pseudo stem diameter (B), root length (C), number of root tips (D), fresh weight seedling (E), and dry weight seedling (F).

Şekil 1. Budama sıklığı ve parametreler arasındaki doğrusal regresyon denklemi. Yaprak sayısı (A), yalancı gövde gövde çapı (B), kök uzunluğu (C), kök ucu sayısı (D), fidenin taze ağırlığı (E) ve fidenin kuru ağırlığı (F).

The difference in performance between the seedlings of the three shallot varieties with the frequency of pruning can be seen in Figure 2. The Lokananta variety with three pruning times had the most remarkable performance compared to the seeds of the other varieties and pruning frequencies. There is also a tendency for the seedlings to get bigger with an increase in pruning frequency.

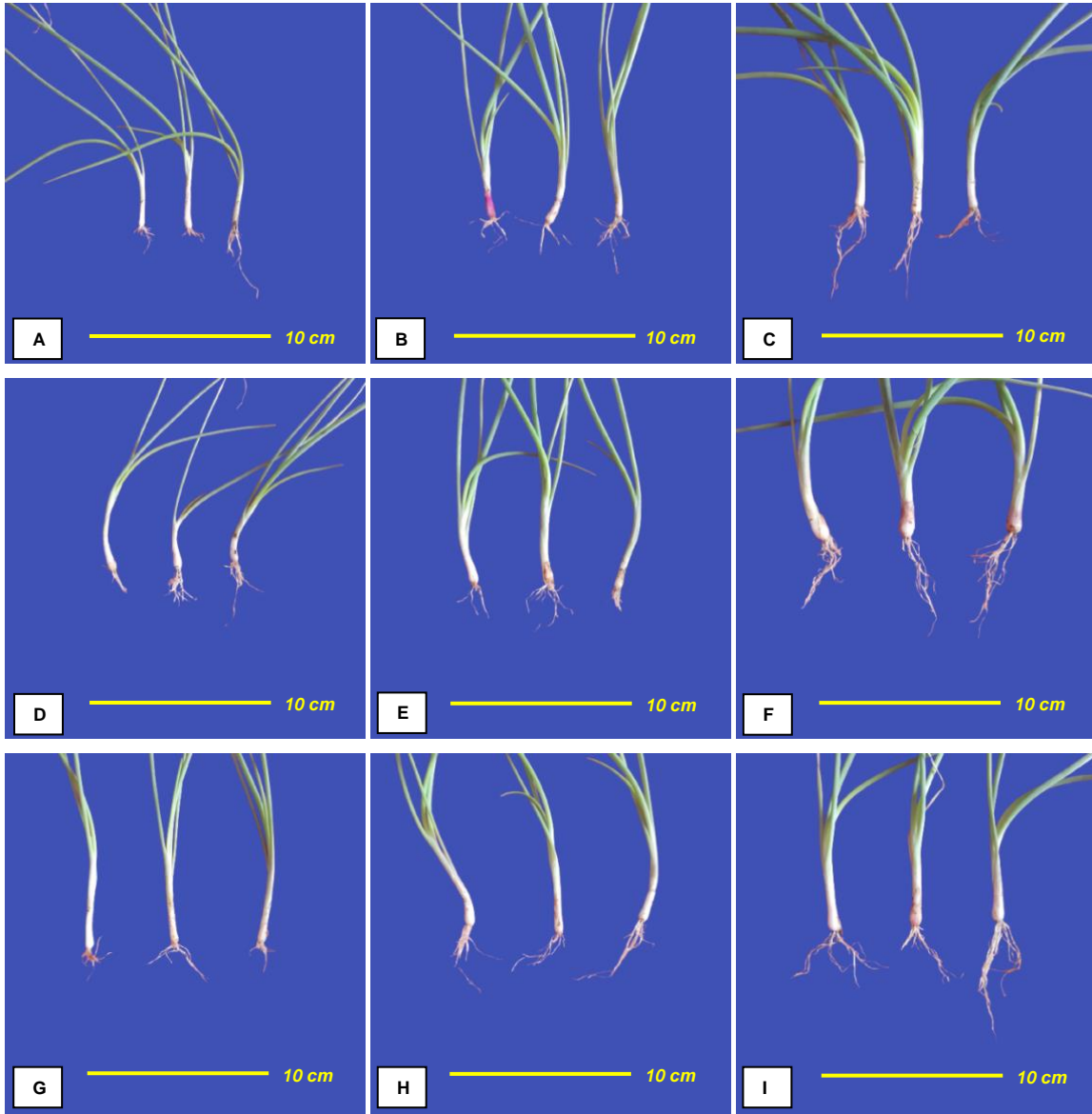


Figure 2. Performance of shallot seedlings by pruning. Sanren F1 + one time (A), Sanren F1 + two times (B), Sanren F1 + three times (C), Lokananta + one time (D), Lokananta + two times (E), Lokananta + three times (F), Maserati + one time (G), Maserati + two times (H), Maserati + three times (I).

Şekil 2. Şalot soğanı fidelerinin budama ile performansı. Sanren F1 + bir kez (A), Sanren F1 + iki kez (B), Sanren F1 + üç kez (C), Lokananta + bir kez (D), Lokananta + iki kez (E), Lokananta + üç kez (F), Maserati + bir kez (G), Maserati + iki kez (H), Maserati + üç kez (I).

Correlation (based on color) between observation parameters can be seen in Figure 3. Correlation values for these various parameters range from 0.50 to 0.98, which shows a moderately correlated relationship to a very strong correlation (Schober et al., 2018). A very strong correlation was shown in the parameters of fresh weight with the dry weight of seedlings (0.98). The correlation between the number of leaves with the diameter of the pseudo stem (0.87), the number of leaves with the number of root tips (0.77), the number of leaves with fresh weight (0.85), the number of leaves with dry weight (0.80), the pseudo stem diameter with root length (0.78), pseudo stem diameter with number of root tips (0.72), pseudo stem diameter with fresh weight (0.85), pseudo stem diameter with dry weight (0.88), and root

length with weight dry (0.79) classified into a strong correlation. Correlation value between the number of leaves and root length (0.50), root length and number of root tips (0.63), root length and fresh weight (0.68), number of root tips and fresh weight (0.66), and number of tips roots with dry weight (0.64) were classified to a moderate correlation.

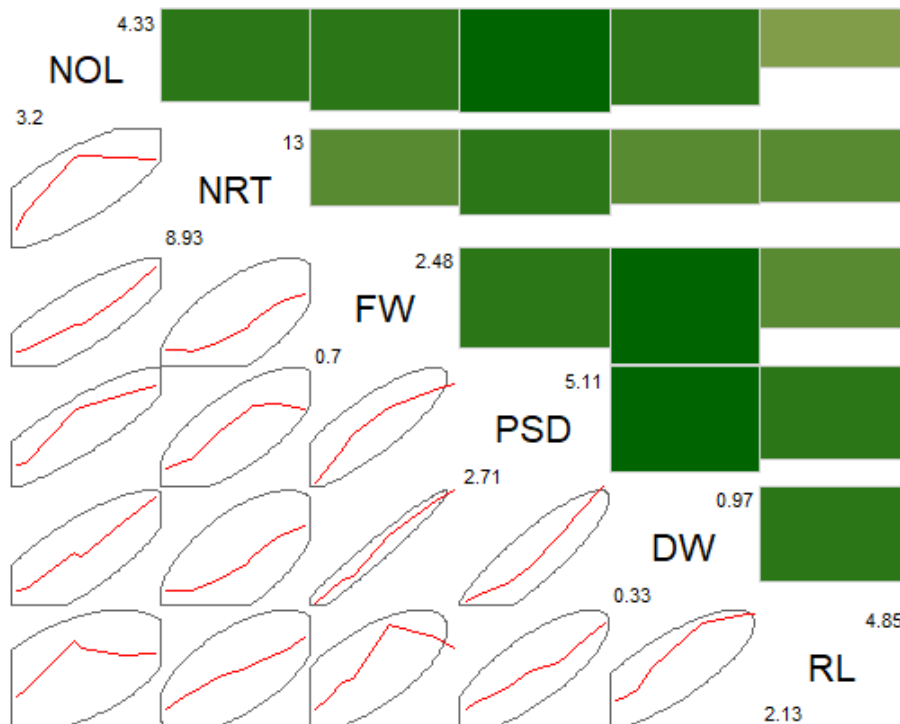


Figure 3. Correlation graph among parameters. (NOL) number of leaves, (NRT) number of root tips, (FW) fresh weight, (PSD) pseudo stem diameter, (DW) dry weight, and (RL) root length.

Şekil 3. Parametreler arasındaki korelasyon haritaları. (NOL) yaprak sayısı, (NRT) kök ucu sayısı, (FW) taze ağırlık, (PSD) sahte gövde çapı, (DW) kuru ağırlık ve (RL) kök uzunluğu.

CONCLUSIONS

Based on the research that has been done, it can be concluded that pruning affects the growth of shallot seedlings from seeds. The three varieties have different responses to pruning. The Maserati variety had the highest average number of leaves and the highest average number of root tips, the Lokananta variety had the largest average pseudo-stem diameter and the heaviest fresh and dry weight of seedlings, and the Sanren F1 variety had the most extended average root length. Pruning with a frequency of three times consistently increases the growth of shallot seedlings, such as number of leaves, pseudo stem diameter, root length, number of root tips, fresh and dry weight of seedlings.

Data Availability

Data will be made available upon reasonable request.

Author Contributions

Conception and design of the study: MF, ES; sample collection: PW, CC; analysis and interpretation of data: AJ, RWP; statistical analysis: AJ, RWP; visualization: MF, CC; writing manuscript, reviewing, and revising: MF, ES.

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 Dr. Emrah ZEYBEKOĞLU.

REFERENCES

- Adu-Yeboah, P., J. Yeboah, F. Owusu-Ansah, A. Y. Akrofi & K. Opoku-Ameyaw, 2016. Influence of root and shoot pruning on field establishment and growth of overgrown cashew (*Anacardium occidentale* L.) seedlings. *Journal of Horticulture and Forestry*, 8 (7): 51-57. DOI: 10.5897/JHF2016.0449
- Alemu, D., C. Kitila, W. Garedew, L. Jule, B. Badassa, N. Nagaprasad, V. Seenivasan, A. Saka & K. Ramaswamy, 2022. Growth, yield, and yield variables of onion (*Allium cepa* L.) varieties as influenced by plantspacing at DambiDollo, Western Ethiopia. *Scientific Reports*, 12 (1): 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24993-x>
- Aragle, E., M. Alemayehu & A. Abate, 2023. Influences of seeding age and variety on the growth and bulb yield of onion in Northwest Ethiopia. *International Journal of Agronomy*, 2023: 1-8. DOI: 10.1155/2023/9132446
- Ayala-Tafola, F., C. A. Lopez-Orona, M. G. Yanez-Juarez, T. Diaz-Valdez, T. D. J. Velazquez-Alcaraz & J. M. P. Delgado, 2019. Plant density and stem pruning in greenhouse cucumber production. *Revistas Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10 (1): 79-90.
- Busri, A., S. Sulistyawati & S. H. Pratiwi, 2018. Pengaruh defoliiasi daun pada pertumbuhan dan hasil tanaman kubis krop (*Brassica oleraceae* var. *Capitata* L.). *Jurnal Agroteknologi Merdeka Pasuruan*, 2 (2): 31-36.
- Kahar, K., H. Hayatudin & A. Alpiana, 2022. The influence of cutting onion seeds due to organic fertilization on the growth and production of onion plants (*Allium fistulosum* L.). *JAGO TULIS: Jurnal Agrokompleks Tolis*, 2 (1): 22-26.
- Kubota, C., A. Balliu & S. Nicola, 2013. "Quality of Planting Materials, 255-278". In: *Good Agricultural Practice for Greenhouse Vegetables Crops*. (Eds. W. Baudoin, R. Nono-Womdim, N. Lutaladio, A. Hodder, N. Castilla, C. Leonardi, S. D. Pascale & M. Qaryouti), FAO, Rome, 640 pp.
- Lhamo, T., T. Gyalmo, T. Pem & Y. Bajgar, 2022. Effect of different pruning systems on yield and quality tomato grown under greenhouse. *Bhutanese Journal of Agriculture*, 5 (1): 71-82. <https://doi.org/10.55925/btagr.22.5106>
- Makhubedu, T. I., B. A. Letty, P. L. Mafongoya & P. E. Scogings, 2022. Unraveling the effects of pruning frequency on biomass productivity, nonstructural carbohydrates and nitrogen fixation rates of *Sesbania sesban*. *Forest*, 13 (12): 1-11. <https://doi.org/10.3390/f13122035>
- Mardhiana, M., A. P. Pradana, M. Adiwena, K. Kartina, D. Santoso, R. Wijaya & A. Maliki, 2017. Effect of pruning on growth and yield of cucumber (*Cucumis sativus*) Mercy variety in the acid soil of north kalimantan, Indonesia. *Cell Biology & Development*, 1 (1): 13-17. DOI: 10.13057/cellbioldev/v010103
- Maurin, V. & A. DesRochers, 2013. Physiological and growth responses to pruning season and intensity hybrid poplar. *Forest Ecology and Management*, 304: 399-406. DOI: 10.1016/j.foreco.2013.05.039
- Naidu, R. D. & N. B. Jones, 2011. The effect of cutting length on the rooting and growth of subtropical *Eucalyptus* hybrid clones in South Africa. *Southern Forest*, 71 (4): 297-301. DOI: 10.2989/SF.2009.71.4.7.1034
- Noviati, D. & A. Setiawan, 2018. Effect of tip pruning and planting distance to the growth and cutting production of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Buletin Agrohorti*, 6 (1): 140-150.
- Partey, S. T., 2010. Effect of pruning frequency and pruning height on the biomass production of *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray. *Agroforest system*, 71 (3). DOI: 10.1007/s10457-010-9367-y
- Roslinasi, R., N. Waluyo, M. P. Yufdy, Hermanto, I. Sulastris, T. Handayani, A. Sembiring, N. Gunaeni, R. Gaswanto, A. Rahayu & A. M. Efendi, 2022. Benih Biji Bawang Merah (True Seed of Shallot) di Indonesia. IAARD PRESS, Jakarta, 186 pp.

- Saifuddin, M., A. B. M. S. Hossain, N. Osman, M. A. Sattar, K. M. Moneruzzaman & M. I. Jahirul, 2010. Pruning impacts shoot-root-growth, biochemical and physiological changes of *Bougainvillea glabra*. Australian Journal of Crop Science, 4 (7): 530-537.
- Schober, P., C. Boer & L. Schwarte, 2018. Correlation coefficient: Appropriate use and interpretation. Anesthesia & Analgesia, 126 (5): 1763-1768. DOI: 10.1213/ANE.0000000000002864
- Sopha, G. A., N. Sumarni, W. Setiawati & S. Suwandi, 2016. The true shallot seed seeding technique for the production of mini shallot seeds and bulbs. Jurnal Hortikultura, 25 (4): 318-330. DOI: 1021082/jhortv25n42015p318-330.
- Sopha, G. A., M. Syakir, W. Setiawati, N. Suwandi & N. Sumarni, 2017. The technique of planting shallot seeds from true shallot seed in suboptimal land. Jurnal Hortikultura, 27 (1): 35-44.
- Sukmawati, S., St. Subaedah & S. Numba, 2018. The effect of pruning on the growth and production of variety red chili pepper (*Capsicum annum* L.). Jurnal Agrotek, 2 (1): 45-53.
- Sumarno, J., F. S. I Hiol & A. Nur, 2021. Study on application of TSS (True Shallot Seed) shallot technology in Gorontalo. E3S Web of Conferences, 232: 1-13. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202123203011>
- Sun, W., M. H. Shahrajabian & Q. Cheng, 2019. The insight and survey on medicinal properties and nutritive components of shallot. Journal of Medicinal Plants Research, 13 (18): 452-457 DOI: 105897/jmpr20196836
- Takoutsting, B., Z. Tchoundjeu, A. Degrande, E. Asaah, A. Gyau, F. Nkeumoe & A. Tsoheng, 2013. Assessing the quality of seedlings in small-scale nurseries in the highlands of cameroon: the use of growth characteristics and quality thresholds as indicators. Small-Scale Forestry, 12 (1). DOI: 10.1007/s11842-013-9241-7
- Thakur, O., V. Kumar & J. Singh, 2018. Pruning and gibberellic acid on the growth and yield attributes of onion (*Allium cepa* L.) var Agrifond Light Red. International Journal of Current Microbiology and Applied Science, 7 (1): 976-981. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.701.117>
- Tuzel, Y., G. B. Oztekin & E. Tan, 2015. Use of different growing media and nutrition in organic seedling production. Acta Horticulture, 1107: 165-175. DOI: 10.17660/ActaHortic.2015.1107.22
- Zhang, L., A. B. Koc, X. N. Wang & Y. X. Jiang, 2018. A review of pruning fruit trees. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 153 (6): 1-6. DOI :10.1088/1755-1315/153/6/062029

Research Article
(Araştırma Makalesi)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2024, 61 (2):175-187
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1440254>

Enver KEN ^{1*} 

Ferit ÇOBANOĞLU ² 

¹ Aydın Adnan Menderes University,
Graduate School of Natural and Applied
Sciences, Department of Agricultural
Economics, 09970, Koçarlı, Aydın, Türkiye

² Aydın Adnan Menderes University, Faculty
of Agriculture, Department of Agricultural
Economics, 09970, Koçarlı, Aydın, Türkiye

* Corresponding author (Sorumlu yazar):

enverken@hotmail.com

Keywords: ARDL boundary testing
approach, canola, oily sunflower, price,
production

Anahtar sözcükler: ARDL sınır testi
yaklaşımı, kanola, yağlık ayçiçeği, fiyat,
üretim

The effect of alternative product prices on production balance: Empirical findings on the production of oilseed crops in Türkiye

Alternatif ürün fiyatlarının üretim dengesi üzerindeki etkisi: Türkiye’de yağlı tohumlu bitkilerin üretimine ilişkin ampirik bulgular

Received (Alınış): 20.02.2024

Accepted (Kabul Tarihi):27.04.2024

ABSTRACT

Objective: The canola and oily sunflower products, which are similar in terms of cultivation areas, techniques, and conditions, are alternatives to each other. It is believed that product prices play an important role in deciding to cultivate these two products. Hence a study was conducted and the objective of this study was to this study was to examine the long and short term effects of product prices, especially alternative product prices, on production.

Materials and Methods: The data for the study included the years 2002-2021 and were analyzed using the ARDL boundary test.

Findings: According to the findings of the ARDL boundary test, a 1% increase in canola prices increases canola production by 4.72% in the long term, while a 1% increase in the prices of sunflower, an alternative product, decreases canola production by 5.37%. The error correction coefficient (-0.96) was found to be negative and statistically significant, indicating that imbalances in the short term will return to equilibrium levels approximately 1.04 years later.

Conclusion: Changes in the prices of these two alternative products affect the increase or decrease in production. In this context, regulations can be made on production through price policies. Additionally, the findings of the study can contribute to production planning and increasing welfare.

ÖZ

Amaç: Yetiştirildiği alanlar, teknikler ve koşullar bakımından benzer olan kanola ve yağlık ayçiçeği ürünleri birbirinin alternatifleridir. Bu iki ürünün yetiştirilmesine karar vermede ürün fiyatlarının önemli bir rol oynadığı düşünülmektedir. Bu çalışma ürün fiyatlarının, özellikle de alternatif ürün fiyatlarının üretim üzerindeki uzun ve kısa dönem etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır.

Materyal ve Yöntem: Çalışmanın verileri 2002-2021 yıllarını kapsamakta olup, ARDL sınır testi kullanılarak analiz edilmiştir.

Araştırma Bulguları: ARDL sınır testi bulgularına göre, uzun dönemde kanola fiyatlarında meydana gelen %1’lik artış, kanola üretimini %4,72 artırırken, alternatif ürün olan yağlık ayçiçeği fiyatlarında meydana gelen %1’lik artış, kanola üretimini %5,37 azaltmaktadır. Hata düzeltme katsayısı (-0,96) negatif ve istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş olup, kısa dönemde meydana gelen dengesizlikler yaklaşık 1,04 yıl sonra denge seviyesine dönmektedir.

Sonuç: Bu iki alternatif ürünün fiyatlarındaki değişiklikler üretimin artması veya azalmasında etkilidir. Bu bağlamda, fiyat politikaları ile üretim üzerinde düzenlemeler yapılabilir. Ayrıca çalışmanın bulguları, üretim planlaması ve refahın artırılmasına katkı sağlayabilir.

INTRODUCTION

With the increasing global population, access to food and the importance of the agricultural sector has become increasingly debatable (Uzundumlu, 2012). In this regard, one of the essential nutrients necessary for sustaining vital human activities is vegetable oils. A significant portion of vegetable oils is derived from oilseed plants (Gül et al., 2016). Oilseed plants play a crucial role not only in human and animal nutrition but also constitute a significant raw material source within the industrial sector (Arıoğlu, 2010, 2016).

According to the information provided by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), in the year 2021, global vegetable production summed up to a total value of 2,834,602 million US dollars. The category of oilseeds constitutes 12.74% of this production. Specifically, 36.53% of the world's vegetable oil production is derived from palm oil, 28.20% from soybean oil, 12.12% from rapeseed (canola) oil, 9.91% from sunflower oil, and 13.24% from other plants (FAO, 2023).

Türkiye realized a total agricultural production of 52,968 million US dollars in the year 2021, with oilseed plants constituting 12.31% of this production. In comparison to the global scale, Türkiye significantly meets a substantial portion of its oil demand through sunflower production. Specifically, 56.39% of the total oil production, amounting to 2 304 thousand tons, is supplied through sunflower cultivation. Canola, another notable oilseed product, has begun to stand out in Türkiye since the 2000s and holds approximately a 3% share in Türkiye's production, unlike the global average (%12.12) (FAO, 2023).

In this study, the objective was to investigate the factors that may affect the production of canola, an oilseed plant. The present study, distinct from other studies, reveals the effects of the alternative crop on the production. Within the framework of the study's objectives, the theoretical approach is elaborated in details below.

In Türkiye, in the year 2022, a total of 150 thousand tons of canola production was produced. The provinces constituting approximately 90% of the total production are tabulated in Table 1. Upon general examination, it is observed that the production is concentrated in the provinces of the Thrace region. The domestic self-sufficiency level of canola production has increased in recent years and reached a sufficient level. While canola production is seen at a sufficient level, the quantity of production is quite low compared to other crops. Another evidence, Türkiye remains dependent on imports of oilseeds. Particularly, the self-sufficiency level of widely used oily sunflower in Türkiye remains around 60%, making Türkiye the leading country globally in sunflower seed imports. In this context, it is emphasized that canola, with its high oil content and yield, could play a significant role in reducing the vegetable oil deficit in Türkiye (Kumbar & Unakitan, 2011).

A noteworthy point is that the areas where canola production takes place are also regions with intense production of oily sunflower. In the Thrace region, wheat, oily sunflower, and canola production stand out, especially under rainfed farming conditions, and they are generally cultivated in rotation (Unakitan & Abdikoğlu, 2014). Additionally, as stated in the study by Kumbar & Unakitan (2011), these three crops share similar cultivation techniques, climate requirements, and input use. The data in Table 1 confirms this information.

Considering all these factors, canola and oily sunflower, both falling into the category of oilseeds, can be evaluated as alternative products to each other. One of the factors influencing producers' choices of products is the changes in alternative products (Özkan & Karaman, 2011; Unakitan & Abdikoğlu, 2014; Özüdoğru & Miran, 2015; Dörtok & Aksoy, 2018; Bitrak, 2023). In this context, the main objective of the study was to identify the factors affecting canola production and to determine short and long term production sensitivity. The study aims to explain the changes in canola production by examining the relationship between the price of the product itself and the prices of alternative products (oily sunflower). These findings can contribute to production planning and, consequently, be utilized to increase producer income.

Table 1. Status of canola and oily sunflower production in Türkiye**Çizelge 1.** Türkiye’de kanola ve yağlık ayçiçeği üretiminin durumu

Crops	Provinces	2010	2015	2020	2021	2022	2022 (%)
Canola / Colza (ton)	Edirne	13,890	5,760	24,370	24,898	30,387	20.26
	Tekirdağ	53,080	73,891	37,831	45,868	28,685	19.12
	Konya	226	1,987	16,607	24,780	27,067	18.04
	Kırklareli	11,113	8,303	15,692	14,163	17,922	11.95
	İstanbul	13,805	18,189	8,261	9,462	10,303	6.87
	Çanakkale	9,520	4,282	6,596	7,343	10,112	6.74
	Balıkesir	1,086	6,896	3,233	2,994	5,479	3.65
	Others	3,730	692	8,952	10,492	20,045	13.36
	Total	106,450	120,000	121,542	140,000	150,000	100.00
Self-Sufficiency Level (%)		30,90	26,90	111,20	116,70	-	-
Oily Sunflower (ton)	Tekirdağ	259,562	267,012	353,982	399,531	335,561	14.28
	Edirne	332,894	226,573	240,434	285,286	325,812	13.86
	Konya	46,764	210,307	278,546	324,790	254,571	10.83
	Kırklareli	139,407	188,998	226,320	226,163	227,791	9.69
	Çanakkale	51,121	40,787	53,306	62,319	81,549	3.47
	Balıkesir	31,468	30,609	37,740	50,216	57,247	2.44
	İstanbul	46,362	35,795	43,274	49,017	51,570	2.19
	Others	262,422	499,919	666,398	817,678	1,015,899	43.23
	Total	1,170,000	1,500,000	1,900,000	2,215,000	2,350,000	100.00
Self-Sufficiency Level (%)		52,40	78,90	62,50	59,60	-	-

References: TURKSTAT, 2024a; TURKSTAT 2024b.

This section includes studies conducted at both the national and international levels that are relevant to the subject.

Özkan & Karaman (2011) aimed to analyze the impact of factors affecting cotton production in Türkiye in their study. In this context, variables such as product price, alternative product prices, agricultural supports, and labor wages were examined using the ARDL model.

Haile et al. (2015) reveal the responsiveness of supply to price fluctuations for major agricultural products worldwide, such as wheat, rice, corn, and soybeans. Findings indicate that farmers shift towards crops with less price variability, reducing efficiency by approximately 1-2% in response to price volatility.

Özüdoğru & Miran (2015) employed the Tobit model to predict the cotton supply function. According to the analysis results, producers tend to follow substitute product prices, showing a positive response to an increase in cotton prices and a negative response to an increase in substitute product prices.

Önder (2017), in his study on factors influencing cotton supply, found that a 1% increase in cotton prices leads to a 42% increase in cotton supply, while a 1% increase in substitute product prices results in a 41% decrease.

Abdikoğlu & Unakıtan (2017) determined the sensitivity of changes in sunflower cultivation areas in Türkiye to sunflower prices and other product prices. According to the results, the short term elasticity of sunflower price is 0.09, while the long term elasticity is 0.32. These elasticity coefficients suggest that producers are not very sensitive to prices in the short term but become more responsive in the long term. In another study conducted by Unakıtan & Azabağaoğlu (2017), the impact of changes in canola prices on the acreage of cultivation over the years was examined using the Koyck model. The study utilized panel data from the years 1990 to 2014. If short term canola prices increase by 10%, it will lead to a 1.2% increase in the canola cultivation area. According to this estimate, this effect increases the canola cultivation area by up to 4.2% in the long term. The changes in canola prices affect the canola cultivation area after 2.5 years. The findings indicate a weak relationship between canola price and canola cultivation area.

Shahzad et al. (2018) used the ARDL approach to predict the supply response of tobacco producers to price and non-price variables. The study utilized time series data covering the period from 1981 to 2014. Long term predictions indicate that tobacco price and tobacco area coefficients are positive and statistically significant, while wheat price (a competitive product) is negative and statistically significant.

Waqas et al. (2019) analyzed the supply response of wheat, grown under dry conditions in Pakistan, using the ARDL approach. ARDL results indicated that wheat price, chickpea price (an alternative product), minimum temperatures, and seasonal rainfall produced statistically significant results in both the short and long term.

Abdullah (2020) examined the supply sensitivity of wheat, corn, and cotton in the Kirkuk province of Iraq from 1994 to 2015 using the ARDL method. The study considered cultivated area as the dependent variable and explanatory variables included the current price of the product, the current price of the competitor's product, yield risk, price risk for cotton, and irrigation and precipitation rates for wheat.

Mithiya et al. (2021), in their studies in India, investigated the dynamic relationship between the production area and price of oilseeds. Empirical results indicate that prices of competitive products have a significant impact on cultivation areas, either positively or negatively.

In the study conducted by Çukur et al. (2021), the relationship between organic farming area and agricultural value added was examined using the Dynamic Panel ARDL method. In this study, which includes nine EU countries between 2010 and 2018, a positive relationship was found between organic farming area and agricultural value added, leading to the conclusion that organic agricultural production should be increased accordingly.

Bitrak (2023) used the ARDL border test in a study investigating the determinants of potato production decisions in Türkiye. Variables such as annual potato cultivation area, annual average potato price, and annual yield per hectare for potatoes and onions (alternative products) constitute the main material of the study. Factors positively influencing potato cultivation areas, in the long term, were determined as potato price and potato yield per hectare. However, the factor negatively affecting it was found to be onion yield per hectare.

Bulut & Bayraktar (2023) employed the ARDL model to investigate agricultural supports in selected 11 agricultural products. Findings suggest that increases in input prices have a short term negative impact on production, but in the long term, the effect is the opposite. Agricultural product prices, on the other hand, are not a significant indicator for producers.

In their study, Erdal et al. (2023) examined the relationship between production quantity and price in cotton production in Azerbaijan using the Koyck model with data from the period 1995-2022. According to the average number of lags, it was found that for a significant and noticeable effect of price changes on cotton production, it takes approximately 2.86 years. While a one-unit increase in cotton prices leads to an increase in production by 2.524 tons, a one-unit change in prices in the previous period increases cotton production by 1.870 tons.

Some studies examine the factors affecting the production of various products using the ARDL border test approach. Additionally, there are other studies with similar objectives that employ different methods. However, it has been observed that studies focusing on time series data for canola and oilseed plants are quite limited. Furthermore, there are studies on the current state of canola production, input use, cost analysis, and resource efficiency (Bayramoğlu et al, 2010; Kumbar & Unakitan, 2011; Semerci, 2020, 2022).

MATERIALS and METHODS

Materials

The data about the main material of the study were obtained from the Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, and the Türkiye Statistical Institute (TURKSTAT). Additionally, sector reports and academic studies published in national and international domains were utilized.

Methods

The study aims to examine the factors influencing canola production in Türkiye. When considering canola and sunflower oil prices as independent variables, the production quantity has been determined as the dependent variable. The dataset used covers the years 2002-2021. In the study, the Producer Price Index (2003=100) published by the Türkiye Statistical Institute was used to convert current prices into real prices. Initially, a logarithmic transformation has been applied to the series. Following this process, the stationarity of the series has been examined using Augmented Dickey-Fuller (ADF) and Phillips-Perron (PP) unit root tests. After the unit root test, the existence of a long term equilibrium relationship was evaluated with the Autoregressive Distributed Lag Model (ARDL) boundary test (Pesaran et al., 2001). The following equation was formed for this study:

$$\ln CQ = \beta_0 + \beta_1 \ln CP + \beta_2 \ln SP + \mu t \quad (1)$$

The definitions of the variables in the equation are presented below;

lnCQ: Canola Production Quantity (ton) – Depended Variable

lnCP: Canola Price (TL/ton) – Independent Variable

lnSP: Oily Sunflower Price (TL/ton) - Independent Variable

Detailed explanations regarding the conducted tests and preliminary tests in the study are provided below.

Correlation matrix

The correlation coefficients measure the direction and strength of the linear relationship between pairs of variables. Additionally, the correlation matrix helps detect the issue of multicollinearity in the created model. An important assumption in time series analyses is the absence of a high correlation among independent variables (Voss, 2005). To avoid multicollinearity issues, it is expected that the correlation coefficients between pairs of independent variables are below 0.80 (Grewal et al., 2004). This study examined with Pearson correlation coefficient.

Unit root tests

The presence of unit roots or non-stationarity in time series indicates that the series is influenced by past values. Consequently, analyses conducted with non-stationary series may yield inaccurate results. Additionally, the decision regarding cointegration tests is based on the stationary levels of the variables. In the research, commonly used "Augmented Dickey-Fuller (ADF)" and "Phillips-Perron (PP)" unit root tests have been employed (Dickey & Fuller, 1979; Phillips & Perron, 1988).

ARDL cointegration test

ARDL (Autoregressive Distributed Lag) method was developed by M. Hashem Pesaran, Yongcheol Shin, and Richard J. Smith in 2001. The ARDL method yields effective results when the dependent variable is I (1) and the independent variables are either I (0) or I (1) (Shahbaz et al., 2013). Due to this characteristic, it is more flexible compared to traditional cointegration tests such as those by Engle & Granger (1987), Johansen & Juselius (1990), and Phillips & Hansen (1990). Additionally, it provides

consistent empirical evidence for small-sample models and contributes to understanding the long term relationships between variables (Narayan & Smyth, 2005). Pesaran et al. (2001), considering the presence of constant, time trend, and restrictive conditions, have proposed five different models. In this study, a model with unrestricted constant and trend has been applied. The long term ARDL equation was specified as follows:

$$\Delta \ln CQt = \beta_0 + \beta_1 t + \sum_{i=1}^p \beta_i \Delta \ln CQt - i + \sum_{i=0}^q \gamma_i \Delta \ln CPt - i + \sum_{i=0}^r \delta_i \Delta \ln SPt - i + \epsilon_t \quad (2)$$

In this equation, t represents the time trend, β_0 is the unrestricted constant, β_1 is the coefficient for the time trend, β_i represents the coefficients for lags, γ_i , and δ_i represent the coefficients for lags of other independent variables. Additionally, p , q , and r denote the lag numbers for $\ln CQ$, $\ln CP$, and $\ln SP$ variables, respectively. For the lag lengths of the ARDL method, information criteria such as AIC (Akaike information criterion), SC (Schwarz information criterion), and HQ (Hannan-Quinn information criterion) can be utilized. The short term dynamics of the variables were described by employing the Error Correction Model (ECM). The ECM representation was specified as follows:

$$\Delta \ln CQt = \beta_0 + \beta_1 t + \sum_{i=1}^p \beta_i \Delta \ln CQt - i + \sum_{i=0}^q \gamma_i \Delta \ln CPt - i + \sum_{i=0}^r \delta_i \Delta \ln SPt - i + \lambda ECM_{t-1} + \epsilon_t \quad (3)$$

In this equation, the error term ϵ_t is corrected with the error term from the previous period. λ represents the error correction coefficient. If λ is negative and statistically significant, it indicates a tendency for short term equilibria to correct towards long term equilibria.

Bound tests

In the classical ARDL (Autoregressive Distributed Lag) method, "F-Bounds" and "t-Bounds" tests are employed to test for cointegration. The F-Bounds test takes into account the lagged values of all dependent and independent variables in the model. The hypotheses for the F-Bounds test are stated as follows: $H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 0$ and $H_A: \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 \neq 0$. The F-Bounds test statistics will be compared with the lower and upper critical values calculated by Narayan & Smyth (2005). If the calculated F-Bounds statistic value exceeds the specified upper critical values for I (1), the null hypothesis H_0 indicating no cointegration is rejected, concluding the presence of cointegration. As a second test in the cointegration analysis, the t-bounds test considers only the lagged values of the dependent variable. The hypotheses for the t-Bounds test are $H_0: \alpha_1 = 0$ and $H_A: \alpha_1 \neq 0$. The test statistics of this test will be compared with the lower and upper critical values calculated by Pesaran et al. (2001).

Diagnostics tests

Diagnostic tests were used to assess the robustness of the findings obtained from the estimated model. Within the scope of the study, the "Jarque-Bera" test was applied to examine the normality assumption. In regression analyses, there should be no relationship among the error terms (Ünver & Gamgam, 1996). In the case of an autocorrelation problem, parameter estimators are unbiased and ineffective (Yavuz, 2009). The "Breusch-Godfrey Serial Correlation LM" test has been conducted to test for autocorrelation issues. Constant variance, or "homoscedasticity," implies that the variance of the error term remains unaffected by changes in the independent variables and remains constant (Yamak & Köseoğlu, 2006; Albayrak, 2008). The "ARCH" test was also applied to test this assumption. To detect any specification or model misspecification errors in the estimated model, the "Ramsey-RESET" test has been conducted. The "Cusum and Cusumq" tests were applied to test the stability or consistency of the estimated coefficients in time series analysis.

RESULT and DISCUSSION

When examining the descriptive statistics of the variables, there are 20 observations obtained from the years 2002-2021 for all variables. Descriptive statistics including the mean, median, minimum, and maximum values, as well as standard deviation values for the logarithmically transformed level data, are provided in Table 2.

Table 2. Descriptive statistics

Çizelge 2. Tanımlayıcı istatistikler

Variables	Mean	Std. Dev.	Maximum	Minimum	Observations
lnCQ	10.692880	1.583606	12.100710	7.090077	20
lnCP	6.148267	0.167174	6.505058	5.767331	20
lnSP	6.487213	0.178579	6.777308	6.161486	20

When examining the correlation matrix table in Table 3, it is observed that the correlation coefficient between the lnCP variable, which is an independent variable in the model, and the lnSP variable is 0.55. According to these results, it is evident that there is no issue of multicollinearity among independent variables. This is because the correlation coefficients are below 0.80 (Balkı, 2023; Göksu & Balkı, 2023).

Table 3. Results of correlation coefficient between variables

Çizelge 3. Değişkenler arasındaki korelasyon katsayısı sonuçları

	lnCQ	lnCP	lnSP
lnCQ	1		
lnCP	0.489**	1	
lnSP	0.039	0.551***	1

***1%; **5%; significance level

Before analyzing the model with the ARDL boundary test, the optimal lag length was examined using the Akaike Information Criterion (AIC), Schwarz Information Criterion (SC), and Hannan-Quinn Information Criterion (HQ). As a result of the conducted test, the optimal lag length was determined to be "1" (Table 4).

Table 4. Optimum lag length

Çizelge 4. Optimum gecikme uzunluğu

Lag	Log L	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	44.48985	NA	2.00e-06	-4.609983	-4.461588	-4.589521
1	72.10570	42.95800*	2.58e-07*	-6.678411*	-6.084830*	-6.596565*
2	77.13091	6.141921	4.47e-07	-6.236768	-5.198001	-6.093536

* Indicates lag order selected by the criterion

According to the Augmented Dickey Fuller (ADF) and Philips Perron (PP) test results, the lnCQ and lnSP series contain unit roots at the level for both models. When the first differences of these variables are taken, they become stationary at all significance levels (prob<0.05). The lnCP series is stationary at the level (Table 5). Due to the variables being stationary at different levels, the long term relationship between the variables will be analyzed using the ARDL Bound Test Approach.

Table 5. Unit root test results (ADF and PP)**Çizelge 5.** Birim kök testi sonuçları (ADF ve PP)

Variables	ADF		PP		
	I (0)	I (1)	I (0)	I (1)	
LnCQ	With Constant	-2.2553	-4.8069***	-2.7568	-4.7983***
	With Constant & Trend	-2.0678	-4.7649***	-1.9663	-4.8121***
	Without Constant & Trend	0.7959	-4.7138***	1.1765	-4.7138***
LnCP	With Constant	-0.3642	-3.7730***	-1.1611	-7.2109***
	With Constant & Trend	-3.5788*	-3.9915**	-5.3896***	-8.1003***
	Without Constant & Trend	0.8345	-3.7273***	0.4124	-4.7068***
LnSP	With Constant	-1.6648	-5.0014***	-1.7797	-4.9659***
	With Constant & Trend	-1.9548	-5.3081***	-1.9548	-5.8112***
	Without Constant & Trend	0.6061	-5.1921***	0.6748	-5.1516***

***1%; **5%; *10%; significance level

In the study, it was found that the most suitable model was ARDL (1, 0, 0). F-Bounds Test and t-Bounds Test indicate that the model constructed for the boundary test results is symmetric/linearly cointegrated at a 5% significance level (Table 6). This is because the test statistic values are larger than the absolute values of the upper limit values determined for I (1). Therefore, it was concluded that the variables converge to the equilibrium point of their linear combinations, indicating that they move together in the long term (Göksu, 2022; Göksu & Balkı, 2023).

Table 6. ARDL cointegration test results**Çizelge 6.** ARDL eşbütünlüşme testi sonuçları

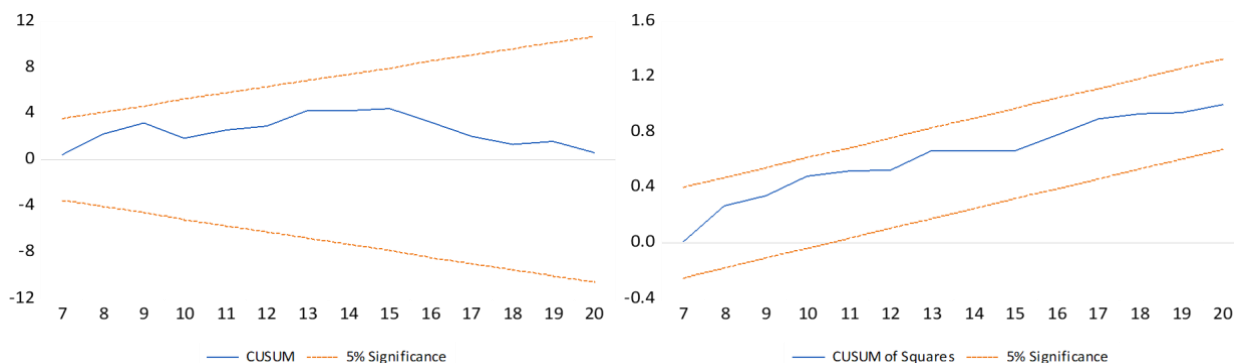
$f(\ln CQ \ln CP, \ln SP)$ ARDL (1, 0, 0) k:2 m:1 n=20		Test Statistics		Result			
		F-Bound Test Value	6.897263**	Cointegrated			
		t-Bound Test Value	-4.126016**				
Table CV	1%	5%	10%				
Tests	I (0)	I (1)	I (0)	I (1)			
F-Bound Test	7.98	9.41	5.55	6.75	4.58	5.60	n=30
t-Bound Test	-3.96	-4.53	-3.41	-3.95	-3.13	-3.63	

** ; represents the 5% significance level; k, the number of independent variables; m, the maximum lag length; and n indicates the number of observations.

According to the diagnostic test results as presented in Table 7, the probability value for the Breusch-Godfrey Serial Correlation LM test is 0.6419. Since the probability value is greater than 0.10, there is no autocorrelation problem in the model. The probability value for the ARCH test applied in the test of changing variance is 0.7132. As the probability value is greater than 0.10, there is no heteroscedasticity problem in the model. The Jarque-Bera probability value is also 0.3761. Since the probability value of the Jarque-Bera test is greater than 0.10, it can be said that the model is suitable for a normal distribution. The probability value for the Ramsey RESET test is 0.2210. Since the probability value is greater than 0.10, there is no model specification error. According to Figure 1, the CUSUM and CUSUMQ graphs are within a 95% confidence interval and within the desired boundaries, indicating that the constructed model is stable.

Table 7. ARDL diagnostic test results**Çizelge 7.** ARDL tanısal test sonuçları

Diagnostic Tests	Test Value	Probability Value
Heteroscedasticity Test: ARCH	0.675994	0.7132
Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test	0.886706	0.6419
Jarque-Bera Normality Test	1.955840	0.3761
Ramsey Reset Test	1.652529	0.2210

**Figure 1.** Qusum and qusum q results.**Şekil 1.** Qusum ve qusum q sonuçları.

According to the long term coefficient results presented in Table 8, the coefficients of $\ln CP$ and $\ln SP$ variables are positive. A 1% increase in the $\ln CP$ variable results in approximately a 4.72% increase in the $\ln CQ$ variable. Since there is a linear relationship between these variables, the opposite interpretation can also be made. In other words, if the $\ln CP$ variable decreases by 1%, the $\ln CQ$ variable also decreases by approximately 4.72%. This result is statistically significant at 95% probability level. A similar interpretation can be made for the $\ln SP$ variable. A 1% increase in the $\ln SP$ variable reduces the $\ln CQ$ variable by 5.37%. If the $\ln SP$ variable decreases by 1%, the $\ln CQ$ variable increases by 5.37%. This result is statistically significant at 99% probability level.

Studies conducted by Unakitan & Azabağaoğlu (2017), Shahzad et al. (2018), and Erdal et al. (2023) have found statistically significant relationships between price and production quantity in various products. In this regard, they support the findings of this study. Additionally, Özüdoğru & Miran (2015), Önder (2017), and Waqas et al. (2019) reported that the price of the product itself increases production quantity, while the price of the alternative product decreases production quantity. Evidence from the literature provides results consistent with the findings of this study.

Table 8. ARDL short and long term forecast results**Çizelge 8.** ARDL kısa ve uzun dönem tahmin sonuçları

a) Long Term (Dependent Variable: $\ln CQ$)	Coefficients	t-statistic	Probability
$\ln CP$	4.716407**	2.714594	0.0168
$\ln SP$	-5.369091***	-5.490787	0.0001
b) Short Term	Coefficients	t-statistic	Probability
C	14.68766***	5.061252	0.0002
Trend	0.140040***	3.262414	0.0057
CointEq (-1)	-0.958588***	-4.862896	0.0003

***1%; **5%; significance level

When examining the short term forecast results, the coefficient of the error correction term is -0.96 with a probability value of 0.0003. The probability value being less than 0.05 indicates the significance of this coefficient, and its negative sign implies that an imbalance in the model will be corrected (Özçelik & Göksu, 2019; Göksu & Balkı, 2023). In other words, the calculated value of -0.96 for the CointEq (-1) coefficient indicates that shocks occurring in the short term will return to the long term equilibrium level approximately 1.04 years later ($1/0.96$). This suggests that shocks in canola and oily sunflower prices will return to equilibrium approximately 1 year later. Additionally, the constant term and trend coefficients are positive and statistically significant (Table 8). In addition, the negative and statistically significant coefficient of the error correction term provides further evidence that the model is cointegrated (Akçay & Karasoy, 2017).

CONCLUSION

In Türkiye, the primary use of oilseed crops is dominated by oily sunflower. However, the inability to meet the demand for oily sunflowers has positioned Türkiye as a significant importer in this field. Conversely, canola production has increased as an alternative to oily sunflower in Türkiye since the 2000s, owing to favorable growing conditions, high oil content, and yield. Observations indicate that a substantial portion of canola production areas in Türkiye also lead to oily sunflower production, supporting this situation. It is believed that product prices play a significant role in decision-making for the cultivation of these two similar products. Indeed, numerous studies in the literature support this hypothesis. This study aims to examine the effects of product prices, especially alternative product prices, on production in both the long and short terms, differing slightly from previous research.

The data for the study were obtained from the years 2002-2021 and were analyzed using the ARDL boundary test. Preconditioning unit root tests, diagnostic tests, and boundary tests providing cointegration relationships were conducted for the ARDL test, all yielding successful results. According to the ARDL boundary test findings, a 1% increase in canola prices increases canola production by 4.72% in the long term, while a 1% increase in oily sunflower prices, an alternative product, decreases canola production by 5.37%. These findings can also be interpreted inversely. The results are statistically significant.

Examining the short term forecast results, the coefficient of error correction term was found to be -0.96, which is statistically significant. The negative and statistically significant finding of the error correction coefficient implies that imbalances that occur in the short term in the model will return to the equilibrium level in the long term. They determined that this correction would occur approximately 1.04 years later ($1/0.96$).

Generally, fluctuations in the prices of two alternative products with similar conditions affect the increase or decrease of production. Therefore, price policies can be implemented to regulate production. An important finding of the study is that changes or shock effects that may occur in the short term while implementing these policies in canola production will return to the equilibrium level approximately one year later. Additionally, it is believed that this study will contribute to efforts related to production planning and welfare improvement.

Data Availability

Data will be made available upon reasonable request.

Author Contributions

Conception and design of the study: FÇ, EK; sample collection: nope; analysis and interpretation of data: EK; statistical analysis: EK; visualization: FÇ; writing manuscript: FÇ, EK.

Conflict of Interest

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

Ethical Declaration

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

Article Description

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

REFERENCES

- Abdikoğlu, D.İ. & G. Unakıtan, 2017. Supply response of sunflower in Turkey. *International Journal of Sustainable Agricultural Management and Informatics*, 3 (3): 224-232. <https://doi.org/10.1504/IJSAMI.2017.090301>
- Abdullah, D.F.A., 2020. Irak'ın Kerkük İlinde Bazı Önemli Bitkisel Ürünlerde Arz Duyarlılığının İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Ekonomisi Ana Bilim Dalı, (Unpublished) PhD Thesis, Adana, 148 s.
- Akçay, S. & A. Karasoy, 2017. Remittances and calorie consumption nexus in Algeria. *International Migration*, 55 (4): 103-117. <https://doi.org/10.1111/imig.12348>
- Albayrak, A.S., 2008. Değişen varyans durumunda en küçük kareler tekniğinin alternatifi ağırlıklı regresyon analizi ve bir uygulama. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10 (2): 111-134.
- Arıoğlu, H., 2016. Türkiye'de yağlı tohum ve ham yağ üretimi, sorunlar ve çözüm önerileri. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25 (Özel Sayı 2): 357-368. <https://doi.org/10.21566/tarbitderg.284325>
- Arıoğlu, H., Ö. Kolsarıcı, A.T. Göksoy, L. Güllüoğlu, M. Arslan, S. Çalışkan, T. Söğüt, C. Kurt & F. Arslanoğlu, 2010. "Yağ bitkileri üretiminin artırılması olanakları, 361-376". Türkiye Ziraat Mühendisliği VII Teknik Kongresi (11-15 Ocak 2010, Ankara) Bildirileri, 1356 s.
- Balkı, A., 2023. "Vergi Gelirleri İle Tasarruflar Arasındaki İlişkinin Analizi: Türkiye Ekonomisinden Ampirik Bulgular, 237-258". In: *İktisadi ve İdari Bilimlerde Uluslararası Teori, Araştırma ve Derlemeler*. Cilt 2. (Ed.M. Mete), Serüven Yayınevi, Ankara, 533 s.
- Bayramoğlu, Z., D. Aktürk & F. Tatlıdil, 2010. Kaynakların rasyonel kullanımının üretim maliyetleri üzerine etkisi: kanola yetiştiriciliği örneği. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 24 (3): 62-68.
- Bitrak, O.O., 2023. Türkiye'de patates üretim kararının belirleyicileri: ARDL sınır testi yaklaşımı. *Sağlık ve Sosyal Refah Araştırmaları Dergisi*, 5 (2): 198-211. <https://doi.org/10.55050/sarad.1270733>
- Bulut, E. & Y. Bayraktar, 2023. Do agricultural supports affect production? a panel ARDL analysis of Türkiye. *Journal of Agricultural Sciences*, 29 (1): 249-261. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.988246>
- Çukur, F., F. Işın & T. Çukur. (2021). Determination of the relationship between organic farming area and agricultural added value in some European Union countries with panel ARDL analysis. *Applied Ecology & Environmental Research*, 19 (6): 5007-5016. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1906_50075016
- Dickey, D.A. & W.A. Fuller, 1979. Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of The American Statistical Association*, 74 (366a): 427-431. <https://doi.org/10.1080/01621459.1979.10482531>
- Dörtok, A. & A. Aksoy, 2018. Türkiye buğday sektörünün eşanlı model yöntemiyle tahmini. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 21 (4): 580-586. <https://doi.org/10.18016/ksudobil.391087>
- Engle, R.F. & C.W. Granger, 1987. Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing. *Journal of the Econometric Society*, 55 (2): 251-276. <https://doi.org/10.2307/1913236>
- Erdal, G., A. Zeynalova & S. Engindeniz, 2023. Analysis of cotton production and price relationship by Koyck model: a case study for Azerbaijan. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 60 (4): 561-570. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.1359942>
- FAO, 2023. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Statistical Yearbook 2022. (Wep page: <https://doi.org/10.4060/cc2211en>) (Date accessed: November 2023).
- Göksu, S., 2022. Plastik kart harcamaları hanehalkı özel tüketim harcamaları üzerinde etkili mi? ARDL yönteminden ampirik kanıtlar. *İstanbul İktisat Dergisi*, 72 (2): 847-875. <https://doi.org/10.26650/ISTJECON2022-1106208>

- Göksu, S. & A. Balkı, 2023. ARDL ve NARDL Eşbütünlük Analizleri: Adım Adım Eviews Uygulaması. Serüven Yayınevi, Ankara, 153 s.
- Grewal, R., J.A. Cote & H. Baumgartner, 2004. Multicollinearity and measurement error in structural equation models: implications for theory testing. *Marketing Science*, 23 (4): 519-529. <https://doi.org/10.1287/mksc.1040.0070>
- Gül, V., E. Öztürk & T. Polat, 2016. Günümüz Türkiye'sinde bitkisel yağ açığını kapatmada ayçiçeğinin önemi. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 30 (1): 70-76.
- Haile, M.G., M. Kalkuhl & J. Von Braun, 2016. Worldwide acreage and yield response to international price change and volatility: a dynamic panel data analysis for wheat, rice, corn, and soybeans. *American Journal of Agricultural Economics*, 98 (1): 172-190. <https://doi.org/10.1093/ajae/aav013>
- Johansen, S. & K. Juselius, 1990. Maximum likelihood estimation and inference on cointegration-with applications to the demand for money. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 52 (2): 169-210. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.1990.mp52002003.x>
- Kumbar, N. & G. Unakitan, 2011. An economic analysis of canola production in Trakya region. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8 (1): 75-80.
- Mithiya, D., S. Bandyopadhyay & K. Mandal, 2021. The impact of price and non-price factors on area allocated to oilseeds in India: An application of ARDL model. *Applied Economics & Finance*, 8 (4): 42-55. <https://doi.org/10.11114/aef.v8i4.5238>
- Narayan, P. & R. Smyth, 2005. Trade liberalization and economic growth in Fiji. An empirical assessment using the ARDL approach. *Journal of the Asia Pacific Economy*, 10 (1): 96-115. <https://doi.org/10.1080/1354786042000309099>
- Önder, K., 2017. Pamuk arzını etkileyen faktörlerin panel veri ile analizi: 2000-2015. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 12 (1): 83-98. <https://doi.org/10.17153/oguibf.298766>
- Özçelik, Ö. & S. Göksu, 2020. CDS primleri ve enflasyon oranının, faiz oranlarına etkisi: Türkiye örneği. *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 12 (1): 69-78.
- Özkan, B. & S. Karaman, 2011. Acreage response for cotton regions in Türkiye: An application of the bounds testing approach to cointegration. *New Medit*, 10 (2): 42-50.
- Özudoğru, T. & B. Miran, 2015. Türkiye'de farklı destekleme politikalarının pamuk arzı üzerine etkileri. *Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi*, 1 (2): 9-19.
- Pesaran, M.H., Y. Shin & R.J. Smith, 2001. Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16 (3): 289-326. <https://doi.org/10.1002/iae.616>
- Phillips, P.C. & B.E. Hansen, 1990. Statistical inference in instrumental variables regression with I (1) processes. *The Review of Economic Studies*, 57 (1): 99-125. <https://doi.org/10.2307/2297545>
- Phillips, P.C. & P. Perron, 1988. Testing for a unit root in time series regression. *Biometrika*, 75 (2): 335-346. <https://doi.org/10.1093/biomet/75.2.335>
- Semerci, A., 2020. Çanakkale ilinde kanola üretiminin fonksiyonel analizi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 7 (1): 141-145. <https://doi.org/10.30910/turkijans.680034>
- Semerci, A., 2022. Çanakkale ili tarım işletmelerinde kanola üretiminin yeri ve önemi. *Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences (EJONS)*, 6 (21): 28-38. <https://doi.org/10.38063/ejons.543>
- Shahbaz, M., Q.M.A. Hye, A.K. Tiwari & N.C. Leitão, 2013. Economic growth, energy consumption, financial development, international trade and CO2 emissions in Indonesia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25: 109-121. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.04.009>
- Shahzad, M., A.U. Jan, S. Ali & R. Ullah, 2018. Supply response analysis of tobacco growers in Khyber Pakhtunkhwa: An ARDL approach. *Field Crops Research*, 218: 195-200. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.01.004>
- TURKSTAT, 2024a. Türkiye İstatistik Kurumu, Bitkisel üretim istatistikleri. (Web page: <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr>) (Date accessed: October 2023).
- TURKSTAT, 2024b. Türkiye İstatistik Kurumu, Bitkisel ürün denge tabloları. (Web page <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr>) (Date accessed: October 2023).
- Unakitan G. & D.İ. Abdikoğlu, 2014. "Buğdayın arz duyarlılığı: Trakya Bölgesi örneği, 805-810". XI. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi (3-5 Eylül 2014, Samsun) Bildirileri, 1736 s.

- Unakıtan, G. & M.Ö. Azabağaoğlu, 2017. "Analysis of sowing area-price relation on canola production, 434-439". IV. International Balkan and Near Eastern Social Sciences Congress Series (8-9 April 2017, Russe) Papers, 928 pp.
- Uzundumlu, A.S., 2012. Tarım sektörünün ülke ekonomisindeki yeri ve önemi. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 22 (1): 34-44.
- Ünver, Ö. & H. Gamgam, 1996. *Uygulamalı İstatistik Yöntemler*. Siyasal Kitabevi, Ankara, 334 s.
- Voss, D.S., 2005. "Multicollinearity, 759-770". In: *Encyclopedia of Social Measurement*. 1st Edition (Eds. K. Kempf-Leonard). Elsevier, Texas, USA, 3000 pp.
- Waqas, M., S. Ali, S.A. Shah & G. Ali, 2019. Supply response of unirrigated wheat in Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan: ARDL approach. *Sarhad Journal of Agriculture*, 35 (3): 902-912. <https://doi.org/10.17582/journal.sja/2019/35.3.902.912>
- Yamak, R. & M. Köseoğlu, 2006. *Uygulamalı İstatistik ve Ekonometri*. Celepler Matbaacılık, Trabzon, 152 s.
- Yavuz, S., 2009. Hataları ardışık bağımlı (otokorelasyonlu) olan regresyon modellerinin tahmin edilmesi. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 23 (3): 123-140.

Research Article (Araştırma Makalesi)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2024, 61 (2):189-199

<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1402726>

Mohsen JANMOHAMMADI ^{1*} 

Hasan KOUCHAKKHANI ¹ 

Naser SABAGHNIA ¹ 

¹ Maragheh University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Production and Genetics, 83111-55181, Maragheh, Iran

* Corresponding author (Sorumlu yazar):

mohsen_janmohammadi@yahoo.com

The effect of supplemental irrigation and exogenous application of glycine betaine on chickpea performance in the semi-arid region

Yarı kurak bölgede ilave sulama ve ekzojen glisin betain uygulamasının nohut performansına etkisi

Received (Alınış): 10.12.2023

Accepted (Kabul Tarihi): 04.05.2024

ABSTRACT

Objective: The objective of this study was to evaluate the effect of foliar spraying of different concentrations of glycine betaine as an osmotic regulator and supplemental irrigation under rainfed conditions on chickpea growth and yield.

Material and Methods: Simultaneous effects of foliar spray of glycine betaine (0 mM: GB₀, 25Mm: GB₂₅, and 50 Mm: GB₅₀) and different levels of irrigation (RF: rainfed or no irrigation, SI₁: supplemental irrigation during flowering stage, SI₂: two supplemental irrigations during flowering and podding, and FI: full irrigation) were assessed on the morphophysiological characteristics of chickpeas under field condition in the western part of Iran.

Results: The effect of SI treatments on the growth was much more noticeable than GB foliar application. Utilization SI₂ + GB₂₅ significantly improved chlorophyll content, pod and seed number, hundred seed weight, and biological yield. SI₁ and SI₂ increased grain yield by 30% and 62%, respectively, compared to RF conditions.

Conclusion: Taken together, two supplemental irrigation during flowering and podding along with foliar spray of GB₂₅ as a reasonable management options increased seed yield and the water use efficiency.

ÖZ

Amaç: Bu çalışmada, doğal yetiştirme koşulları altında ozmotik düzenleyici olarak farklı konsantrasyonlarda glisin betainin yapraklara uygulamasının ve ilave sulamanın nohutta büyüme ve verim üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem: İran'ın batısında tarla koşullarında, yapraklara glisin betain uygulamasının (0 mM: GB₀, 25Mm: GB₂₅ ve 50 Mm: GB₅₀) ve farklı sulama düzeylerinin (RF: yağmurla sulama veya sulamasız, SI₁: çiçeklenme döneminde ek sulama, SI₂: çiçeklenme ve bakla bağlama döneminde iki ilave sulama ve FI: tam sulama), nohutun morfofizyolojik özellikleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Araştırma Bulguları: SI uygulamalarının büyüme üzerindeki etkisi, GB yaprak uygulamasına göre çok daha belirgin olmuştur. SI₂ + GB₂₅ kullanımı klorofil içeriğini, bakla ve tohum sayısını, yüz tane ağırlığını ve biyolojik verimi önemli ölçüde iyileştirmiştir. SI₁ ve SI₂, RF koşullarına kıyasla tane verimini sırasıyla %30 ve %62 artırmıştır.

Sonuç: Sonuçlar birlikte ele alındığında, uygun bir yönetim seçeneği olarak çiçeklenme ve bakla bağlama döneminde iki ilave sulama ile GB₂₅'in yaprağa uygulaması, tohum verimini ve su kullanım etkinliğini artırmıştır.

Keywords: Chlorophyll, drought stress, evapotranspiration, pod number, rainfed, water productivity

Anahtar sözcükler: Klorofil, kuraklık stresi, buharlaşma ve terleme, bakla sayısı, yağmurla beslenme, su verimliliği

INTRODUCTION

The Kabuli chickpea (*Cicer arietinum* L.) is one of the valuable legume crop and provides protein needed by humans. The cultivated area of this plant in the world is around 15 million hectares and its annual global production is 15.8 million tons. The main chickpea producer are India, Australia, Myanmar, Pakistan, Turkey, and Iran. The amount of chickpea production in Iran is 168.142 tons and the cultivated area is 440 thousand hectares. In most of the countries that produce chickpea seed sown as rainfed crop in early spring, and the growth of the plant depends on the water stored in the soil during the fall and winter seasons. However, terminal water deficiency (during pod development phase) is one of the most important limitations for growing this crop. Most of the areas under chickpea cultivation in Iran are located in cold and semi-arid climates, which face extreme drought stress. This condition is aggravated in some years due to asymmetric distribution or a decrease in total precipitation and causes a significant decrease in chickpea yield or makes farming fail. In semi-arid areas due to shallow depth of agricultural soil, low soil organic matter, short high-intensity rainfall, high runoff, low permeability of the soil, low water retention capacity in the soil, inappropriate tillage, poor seedbed soil structure are some of the things that cause limited water storage are among the things that cause limited water storage in the soil and increase the possibility of terminal water stress (Doaei et al., 2020). In these areas, the intensity of drought stress varies from one season to another and depends on factors such as planting date, rainfall distribution during the growing season, air temperature, and the amount of moisture loss through evaporation and transpiration (Seleiman et al., 2021). Although inherent and genetic resistance to drought at the end of the season plays an important role in the amount of production in limiting conditions, the use of agricultural management to reduce stress in the mentioned conditions is of great importance in determining the seed yield (Korbu et al., 2020). Some agronomic management techniques such as planting dates, improving soil conditions and precise irrigation schedules are the most effective factors (Phiri et al., 2023). In the mentioned areas, the available water for irrigation is limited, and therefore, the use of full irrigation systems is not possible. This situation has become more complicated in recent decades due to climate change and global warming. Therefore, maximizing water productivity with accurate irrigation planning can be a suitable strategy for agricultural systems in semi-arid regions (Nikolaou et al., 2020). Supplementary irrigation is a strategic management in rainfed conditions, by providing a limited amount of water during the drought-sensitive period, causes the continuation of plant growth, and stabilizes production. This solution is done during dry spells and when the amount of moisture provided by rain is insufficient. Oweis et al. (2004) showed that the use of supplementary irrigation of around 200 mm during the growing season in Syria significantly improved chickpea yield, due to less moisture loss (ET) during the early growing season water use efficiency considerably increased as compared to full irrigated conditions and improved yield stability over years. However, water use efficiency decreased in supplementary irrigation conditions compared to rainfed conditions. The usefulness of supplementary irrigation is strongly influenced by the climate and the type of plant and needs to be evaluated for different regions. Singh et al. (2016) reported that the consumption of 75 mm of water under rainfed chickpea fields as supplementary irrigation before the start of reproductive growth and during the podding stages, respectively, increased the yield by 59% and 73% compared to the condition without irrigation. In addition, it seems that the external application of some growth stimulants and stress relievers in semi-arid areas can improve growth, reproductive characteristics, and final yield.

Glycine betaine (GB) is one of the derivatives of amino acids, it is soluble in water, non-toxic, and it is naturally synthesized in some plants, including sugar beet (Clendennen & Boaz, 2019). GB plays a role in processes such as osmotic regulation (as an osmotic regulator), and protection of photosystem II. Investigations indicate that the external application of GB can reduce the biosynthesis of reactive oxygen species (ROS) by stimulating the expression of antioxidant genes and preventing the occurrence of secondary oxidative stress (Giri, 2011). However, there have not been many studies on the consequences exogenous application of GB under supplementary irrigation in chickpea as a low-water crop. Therefore, a study was conducted and the objective of this study was to explore the effects of the external application of GB in rainfed conditions and supplementary irrigation on the growth characteristics and yield performance chickpeas.

MATERIALS and METHODS

A field trial was designed and carried out during the year 2020-2021 in Razen Hamedan region in the west of Iran (35.39°N, 49.03°E, altitude of the area 1810 m) for investigate the effects of SI and GB foliar spraying under rainfed condition on chickpea growth and yield. Based on the Köppen-Geiger climate grouping, the region is cold and semi-arid in terms of climate and has predominant winter and spring rains (early and middle months). Some meteorological information during the growing period are tabulated in Table 1. Before the planting season, a suitable piece of land was selected that represented the conspicuous characteristics of rainfed areas in mentioned region. 10 t ha of rotted manure was integrated with the soil during the autumn season along with the initial chisel plowing. At the time of planting, 60 kg ha⁻¹ of ammonium phosphate was used. Each experimental unit was 3 × 3 m included 10 planting lines with 30 cm between rows and a 10 cm in-row spacing. To avoid the effects of moisture leakage, a distance of 2 meters was considered between the main plots and between the experimental blocks. Seed planting was done manually on March 16, 2021, at a depth of 5 cm. The subplots were assigned to different concentrations of glycine betaine (0, 25, and 50 mM).

Cultivar Filip 93-93 was obtained from Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Maragheh, and used for this experiment. Compared to native cultivars, this variety has a higher yield is resistant to Ascochyta blight, and has a suitable growth pattern for mechanized harvesting. The field soil was clay loam and its chemical properties were pH 7.63, total nitrogen content 0.13%, calcium carbonate content 13.6%, electrical conductivity 1.23 dS m⁻¹, organic carbon content 0.39%, absorbable phosphorus 8.037 ppm, and absorbable potassium 198 ppm.

Table 1. Meteorological data recorded in the studied area during the chickpea growing season

Çizelge 1. Çalışma alanında nohut yetiştirme mevsimi boyunca kaydedilen meteorolojik veriler

	March	April	May	June	July
Relative humidity (%)	59	61	48	39	41
Average of minimum temperature (°C)	5.6	7.4	13.2	15.8	19.2
Average of maximum temperature (°C)	11.4	18.3	24.6	29.7	31.4
Average of temperature (°C)	8.55	12.85	18.9	22.75	25.3
Sunny hours per month	227.3	245.8	308.9	342.5	337.8
Total evapotranspiration (mm)	65.2	114.5	184.3	257.6	286.2
Total rainfall (mm)	34.9	61.1	22.1	2.3	3.6

This study was conducted as a split-split plot arrangement based on a Randomized Complete Block Designs with five replications. Each block was divided into four main plots, and the irrigation treatment were randomized to them. The irrigation levels were FI: Full irrigation up to the field capacity (FC) and repetition of the irrigation with 30% moisture depletion, RF: rainfed farming or cultivation without irrigation and relying on rainfall, SI₁: application of supplemental irrigation in the early flowering stage of chickpeas, SI₂: application of supplemental irrigation in the flowering stage and during podding stage. Irrigation was done through polyethylene pipes and drip tape system. The foliar application of different concentrations of glycine betaine were then randomized to 3 m×3 m sub-plots in each main plot. Sub-plots were assigned to 0, 25, and 50 mM of glycine betaine. For 0 mM of glycine betaine concentration, distilled water was sprayed. Volumetric meters were used to measure the amount of water. Glycine betaine (CH₃)₃N⁺CH₂COO⁻ was obtained from Sigma-Aldrich Company and was used externally by spraying on the shoot and leaves during the vegetative (V5) and reproductive stages (R1 and R5). The amount of foliar spraying was enough to wet the entire plant. The total water consumption for SI₁, which was done at the beginning of the bloom stage (fully open flower) in some plants, was 200 mm. However, SI₂ was performed at the stage of full bloom stage (R2) and early seed development (R5), and the total water consumption in this treatment was 300

mm. Under the conditions of full irrigation, the experimental plots were irrigated up to the field capacity, and the amount of water consumption was calculated as follows (Hasanuzzaman et al., 2016).

$$WR = (SFC \times SM) \times BD \times RD$$

Where; WR is the required water amount (mm) during the irrigation, SFC: is the selected field capacity percentage, SM: is soil moisture content before irrigation (through gravimetric method), BD: is soil bulk density g/cm³, RD: is the rooting depth (according to the investigations carried out in the region, a fixed number of 60 cm was considered for chickpea).

To estimate the total water consumption (TWC) during the growing season the equation soil moisture balance was used as below, which included the difference between inputs of water and losses of water (Reddy, 1983).

$$TWC = P + I - DR + (\Delta MC)$$

Where, P refers to the amount of rainfall during the five-month growing season, March through July (mm), I is the amount of water consumed during irrigation (mm), DR: water removed from roots environment due to gravity and called drainage water. ΔMC refers to the difference in soil moisture at the beginning and end of the season. According to the suggestion of Oweis et al. (2004) due to the relatively low amount of rainfall, the type of applied irrigation system, the absence of surface runoff, the type of field soil, and it is impossible to replace the lost moisture through rainfall and irrigation, the amount of drainage water was ignored.

To evaluate the content of chlorophyll as the most important photosynthetic pigment, a portable and non-destructive SPAD Chlorophyll Meter (SPAD-502Plus, Japan) was used non-destructively for the upper leaves during the R5 stage (pods had reached their final size).

To measure the height of the plant, and the number of pod and seeds per plant, in the physiological maturity stage, 10 plants were arbitrarily chosen, harvested and counted. The biological yield was measured for 2 m² randomly selected using a quadrat and after harvesting, they were dried in an oven at the temperature of approximately 75°C for 24 h. Also, the weight of 100- seeds was randomly obtained in each experimental unit after counting and weighing. After separating the seeds, the yield of seeds per surface unit was calculated and then the yield per hectare was calculated. Seed protein percentage was determined using a near-infrared seed analyzer (zeltex, USA) in the physiological maturity stage. The grain or biomass water use efficiency was calculated through the ratio of grain (WUEg) or biomass (WUEb) to total water consumption (TWC).

The gathered data were subjected to analysis of variance with SAS 9.4 software. One-way analysis of variance was achieved and the model using proc glm with split-plot design to test the effects of irrigation and foliar spray of glycine betaine on chickpea growth characteristics. Comparison of average data was done using LSD test at 5% level. Box plots were drawn with STATISTICA 10 software.

RESULTS and DISCUSSION

The evaluation of plant height at the end of the growth period indicated that this trait was only affected by irrigation levels. The height of plants grown under RF conditions was 26% lower than the height of plants grown under FI conditions. Although the application of one time supplementary irrigation increased the height of plants compared to RF conditions, this increase was not significant (7%). However, applying twice supplementary irrigation (SI₂) increased plant height by 25% compared to RF conditions, and these plants were only 6% shorter than plants grown under IF conditions (Table 2).

Plant height is influenced by the interaction between hormones, especially auxin, and the process of cell elongation. Absence of water as the main driver of cell growth on the one hand and possibly the

reduction of auxin biosynthesis under drought stress conditions (Pandey & Shukla, 2016) on the other hand are among the factors that caused the reduction of plant height under RF and SI₁ conditions. The soil moisture regime strongly affected the length of the development period and the number of days until physiological maturity. In IF conditions, the longest growth period was recorded, and the plants grown in RF conditions were 14% less than IF conditions.

Table 1. Growth characteristics and seed yield components of Kabuli chickpea (*Cicer arietinum* L.) under different supplementary irrigation and foliar application of glycine betaine

Çizelge 1 Kabuli nohutunun (*Cicer arietinum* L.) farklı ek sulama ve yaprakdan glisin betain uygulaması altında büyüme özellikleri ve tohum verimi bileşenleri

		PH	DM	CHL	CW	SNP	BY	WUE _b	SY	HI
FI	GB ₀	32.6±2.32 ^a	100.3±1.10 ^{cd}	57.4±1.32 ^e	30.9±3.14 ^d	34.8±3.11 ^{bc}	5824.0±87.2 ^c	7.28±0.12 ^f	1186.0±11.54 ^c	20.3±0.31 ^b
	GB ₂₅	32.56±1.46 ^a	106.2±2.06 ^b	64.0±2.03 ^a	32.6±1.76 ^{ab}	39.4±4.62 ^a	6072.6±63.4 ^a	7.77±0.16 ^b	1229.0±24.50 ^{ab}	20.2±0.46 ^{bc}
	GB ₅₀	32.5±2.64 ^a	110.0±1.33 ^a	61.0±1.26 ^b	33.8±1.02 ^a	35.2±1.02 ^b	5968.0±79.8 ^b	7.77±0.12 ^b	1250.0±18.92 ^a	20.9±0.13 ^a
RF	GB ₀	23.6±1.40 ^c	89.2±1.06 ^f	44.6±0.22 ^f	21.3±3.51 ^h	24.2±1.82 ^h	3573.0±126.2 ^k	13.75±0.35 ^c	598.4±34.10 ^j	16.7±0.25 ^h
	GB ₂₅	23.2±1.71 ^c	87.8±0.56 ^{gh}	41.3±1.66 ^g	25.0±1.78 ^g	24.3±2.53 ^h	3760.4±45.7 ⁱ	14.86±0.44 ^b	647.4±26.6 ^{hi}	17.2±0.17 ^{gh}
	GB ₅₀	25.8±1.14 ^b	95±0.89 ^{ef}	48.7±3.46 ^e	24.9±0.88 ^g	23.0±1.81 ^{hi}	3866.4±57.9 ^f	15.37±0.49 ^a	601.8±39.72 ⁱ	15.5±0.42 ⁱ
SI ₁	GB ₀	26.5±0.96 ^b	99.4±1.02 ^c	53.9±1.37 ^d	27.0±1.03 ^{ef}	27.5±2.21 ^g	4277.2±135.6 ^h	9.82±0.22 ^f	841.4±16.30 ^g	19.6±0.46 ^{de}
	GB ₂₅	26.9±1.52 ^b	96.2±1.13 ^{de}	54.3±0.49 ^d	27.8±1.68 ^e	28.6±1.85 ^{ef}	4513.0±92.4 ^g	10.50±0.13 ^{de}	858.4±11.365 ^f	19.0±0.32 ^f
	GB ₅₀	26.5±1.16 ^b	94.0±0.73 ^f	57.8±0.87 ^c	26.3±1.35 ^{fg}	28.1±1.71 ^f	4728.8±67.91 ^f	10.90±0.42 ^d	835.2±21.34 ^{fg}	17.6±0.37 ^g
SI ₂	GB ₀	27.4±3.21 ^b	97.0±0.95 ^d	52.5±1.03 ^d	31.3±1.58 ^{cd}	30.3±1.42 ^e	5081.6±27.9 ^e	9.03±0.16 ^f	978.0±19.012 ^e	19.2±0.14 ^{ef}
	GB ₂₅	31.3±1.90 ^a	86.4±0.87 ^h	57.4±1.40 ^c	32.4±0.45 ^{bc}	32.4±0.62 ^{cd}	5320.0±114.5 ^d	10.08±0.21 ^{ef}	1052.6±25.67 ^d	19.7±0.22 ^{cd}
	GB ₅₀	32.56±3.17 ^a	106.2±1.53 ^b	64.0±2.29 ^a	31.12±1.78 ^{cd}	30.1±0.33 ^g	5157.6±75.2 ^e	9.08±0.15 ^g	1047.8±20.52 ^d	20.3±0.35 ^b
Statistical significance										
I	**	*	**	**	**	**	**	**	**	**
GB	NS	NS	**	**	**	*	NS	**	**	**
Ix GB	NS	NS	**	*	NS	*	**	**	**	**

FI: full irrigation, RF: rainfed condition without irrigation, SI₁: application of supplementary irrigation in the early flowering stage, SI₂: application of supplementary irrigation in the flowering stage and during podding stage. GB₀: GB₀: sprayed with distilled water (control), GB₂₅: foliar application of 25 Mm glycine betaine, GB₅₀: foliar application of 50 Mm glycine betaine, HP: the height of the plant (cm), CHL: chlorophyll content in upper leaves (SPAD unit), CW: canopy width (cm), SNP: seed number per plants, BY: biological yield (kg ha⁻¹), WUE_b: Water-use efficiency for biological yield (kg ha⁻¹ mm⁻¹), SY: seed yield (kg ha⁻¹), HI: harvest index (%). The numbers represent the mean ± standard error NS: statistically not significant, * and **: significant at 0.05 level and significant at 0.01 level, respectively. In each attribute, the means with the same letters do not have statistically significant differences.

It seems that under unfavorable conditions, plants try to speed up its growth process with internal planning to ensure survival, and this may be associated with the early onset of aging. This trend could be justified by the decrease in chlorophyll in IF and SI₁ conditions. Chlorophyll as one of the important and key pigments of photosynthesis is sometimes referred to as the ability of the photosynthetic apparatus. The interactions of IxGB were significant for this pigment. Comparing the averages showed that foliar spraying of GB₂₅ under FI conditions and foliar spraying of GB₅₀ under SI₂ caused a significant increase. The lowest amount of chlorophyll was observed under RF and GB₅₀. Despite the fact that the external application of GB₂₅ and GB₅₀ in the conditions of one-time supplementary irrigation caused an increase of 2% and 7% compared to no application, the greatest effect on the content of this pigment was recorded in the conditions of two supplementary irrigations with the application of GB₅₀, which compared to the condition without foliar application, it improved the amount of chlorophyll by 22%. The results about the chlorophyll content are in agreement with the ones obtained by Ibrahim et al. (2023) conclusions which indicated that drought stress significantly decreased chlorophyll content and GB foliar spray mitigated the effects of drought stress to a significant extent. The change in chlorophyll content by available soil moisture and its improvement by GB can reflect the photosynthetic capacity of leaves. These changes can be caused by increasing the biosynthesis of chlorophyll under foliar application conditions and reducing the degradation through increasing the scavenging capability of reactive oxygen species (Yang et al., 2023).

Canopy width was affected by GB foliar application and irrigation levels. The decrease in the amount of available water under RF conditions caused a significant decrease in lateral canopy growth, and plants grown under RF had 28% less canopy width than plants grown under FI conditions (Table 2). However, the application of GB showed its greatest effect on canopy width under RF conditions and the application of

GB₂₅ and GB₅₀ increased lateral growth by 17% on average compared to the control. The largest canopy was obtained under FI + GB₅₀ (33.89 cm). Foliar spraying under SI conditions did not have much effect on lateral growth. This verifies the results obtained by Salama (2022), who reported that foliar spray of GB increased canopy growth of Sweet pepper when compared with intact plants.

Examining the number of pods per plant showed that the interaction effects of FI×GB was significant for this trait ($P < 0.01$). The mean comparison showed that the highest number of pods was for plants grown in FI + GB₂₅ conditions. The lowest number of pods per plant was recorded under RF conditions (20.81), which was 53% less than plants grown under FI conditions. However, applying one and two supplemental irrigations improved the number of pods per plant by 18% and 28%, respectively. However, GB₂₅ foliar application could increase this component only under FI and SI₂ conditions (Figure 1).

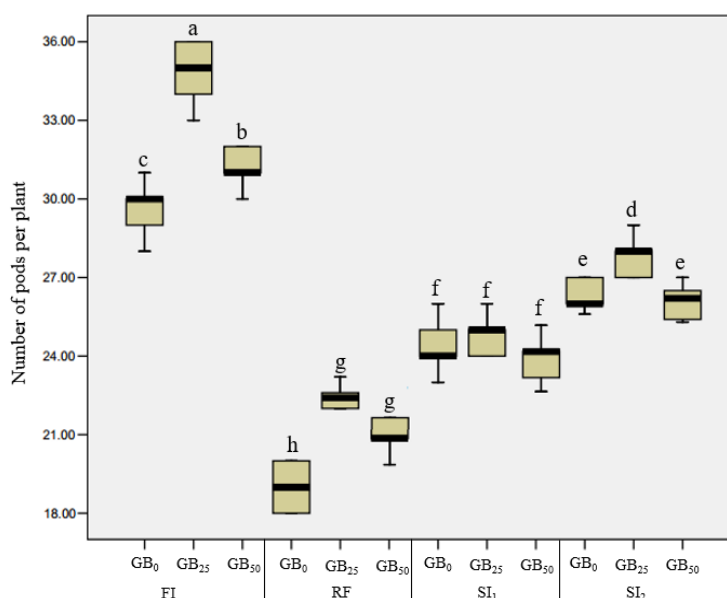


Figure 1. Evaluation of the number of pods in chickpea plants grown under different irrigation conditions and sprayed with different concentrations of glycine betaine. FI: full irrigation, RF: rainfed condition without irrigation, SI₁: application of supplementary irrigation in the early flowering stage, SI₂: application of supplementary irrigation in the flowering stage and during podding stage, GB₀: sprayed with distilled water (control), GB₂₅: foliar application of 25 Mm glycine betaine, GB₅₀: foliar application of 50 Mm glycine betaine. Boxes with the same letters do not have statistically significant differences ($P \leq 0.05$).

Şekil 1. Farklı sulama koşullarında yetiştirilen ve farklı konsantrasyonlarda glisin betain uygulanan nohut bitkilerinde bakla sayısının değerlendirilmesi. FI: tam sulama, RF: sulamasız yağmur sularıyla yapılan yetiştiricilik koşulu, SI₁: erken çiçeklenme aşamasında ek sulama uygulaması, SI₂: çiçeklenme aşamasında ve bakla bağlama aşamasında ek sulama uygulaması, GB₀: distile su uygulama (kontrol), GB₂₅: 25 Mm glisin betain'in yapraktan uygulanması, GB₅₀: 50 Mm glisin betain'in yapraktan uygulanması.

Seed number per plant also had a relatively similar response against the investigated treatments. Foliar application of GB₂₅ under FI conditions increased the number of seeds per plant by about 13% compared to control conditions (no foliar GB application). Also, foliar application of GB₂₅ under SI₂ conditions increased this component by 7% compared to the control. However, in other irrigation regimes, the application of GB could not have a positive effect. The findings showed that the investigated treatments have affected the source-sink Relationships. Number of sinks in chickpeas was highly dependent on moisture supply. It seems that the application of GB under optimal soil moisture conditions has shown its positive effect through increasing the supply of photoassimilates, increasing the ability to transform primordia into yield components and improving the *photoassimilate* partitioning to reproductive organs (Rani et al., 2020). The interaction effect was significant for the weight of 100-seeds ($P < 0.01$), the highest seed weight was recorded under FI+GB₀ and FI+GB₂₅ conditions. However, use of GB₅₀ in FI conditions reduced the seed weight by 6%. Under RF conditions foliar application of GB₅₀ increased seed weight by 4%. Furthermore, foliar application of GB₅₀ under SI₁ conditions did not result in any increase in seed weight, but foliar application of GB₂₅ caused

a 3% increase in seed weight. Spray by GB₂₅ and GB₅₀ caused an increase of 5% and 3%, respectively, in the weight of 100-seeds (Figure 2). Seed weight in grain legumes is influenced by cell divisions in the cotyledons, grain filling rate and supply of current photoassimilates and remobilization and redistribution of stored carbohydrates from vegetative parts (Ayaz et al., 1999). Considering the greater contribution of the remobilization process in the chickpea grain filling, the effect growth regulators on seed weight can be attributed to the increase of translocation of stored photoassimilates to growing seeds (Sreenivasulu & Wobus, 2013). However, GB improved the chlorophyll content and greenness continuity under favorable moisture conditions and hence can increase the portion of current photosynthesis in seed filling.

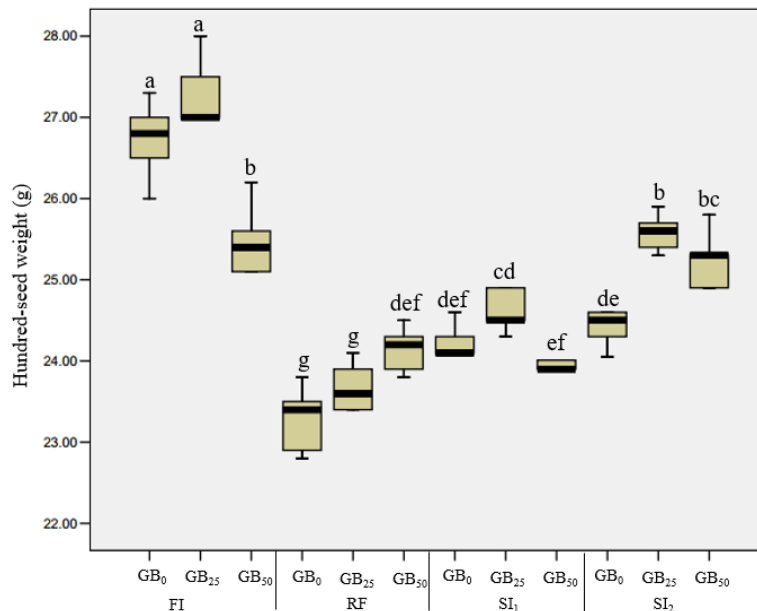


Figure 2. Mean comparisons of 100- seed weight of chickpea plants grown under different moisture conditions and foliar spraying with different concentrations of glycine betaine. FI: full irrigation, RF: rainfed condition without irrigation, SI₁: application of supplementary irrigation in the early flowering stage, SI₂: application of supplementary irrigation in the flowering stage and during podding stage, GB₀: sprayed with distilled water (control), GB₂₅: foliar application of 25 Mm glycine betaine, GB₅₀: foliar application of 50 Mm glycine betaine.

Şekil 2. Farklı nem koşullarında yetiştirilen ve farklı konsantrasyonlarda glisin betain ile yaprağa uygulamasının nohut bitkilerinin 100 tohum ağırlığının ortalama karşılaştırmaları.

The highest amount of biological yield was recorded under + GB₅₀ conditions (6072 kg ha⁻¹) and the lowest amount under GB₀ + RF conditions (3573 kg ha⁻¹). The spray of GB₂₅ and GB₅₀ under RF conditions increased the biological yield by 6% and 9%. Application of one and two supplementary irrigation in rainfed conditions increased the biological yield by 20% and 39%, respectively. A similar conclusion was reached by Pasandi et al. (2014). Assessment of water-use efficiency for biological yield (WUE_b) indicated that the highest WUE_b was recorded under RF+GB₅₀ conditions with a value of 15.37 kg ha⁻¹ mm¹, while the lowest WUE_b was obtained under FI conditions. Foliar application of GB₅₀ under SI₁ conditions increased WUE_b by 11%. Foliar spraying with low concentrations of GB under SI₂ conditions increased WUE_b by 12%. The effect of GB on the improvement of WUE_b can be attributed to the improvement of photosynthesis and the increase of vegetative growth of the plant through mitigating the effects of water deficit. The outcomes of the present experiment are consistent with those of Oweis et al. (2004) who indicated that use of supplementary irrigation reduces the WUE_b. Although it also increases vegetative growth and biological yield. The evaluation of grain yield showed that the highest yield was obtained under FI+GB₅₀ and FI+ GB₂₅ conditions (1250 and 1229 kg ha⁻¹) and the lowest yield was recorded for plants grown under RF+GB₀ (598 kg ha⁻¹). Using 600 mm of irrigation water under FI conditions increased the yield by 100% compared to non-irrigated conditions.

Although foliar application of GB increased the grain yield, the effectiveness of GB₂₅ was more prominent than other levels. Using one and two times of supplemental irrigation in rainfed conditions improved the grain yield by 37% and 66%, respectively. These results emphasize the necessity of using supplemental irrigation for chickpea fields in the studied area. The highest water-use efficiency for grain yield (WUEg) was obtained under RF+GB₂₅ conditions (2.55), and the lowest WUEg was recorded for plants grown under FI+GB₀ conditions (1.48 kg ha⁻¹ mm⁻¹). Comparisons of WUEg between different levels of irrigation indicated that with one and two supplementary irrigations under rainfed conditions, the amount of water use efficiency decreased by 19% and 23% (Figure 3).

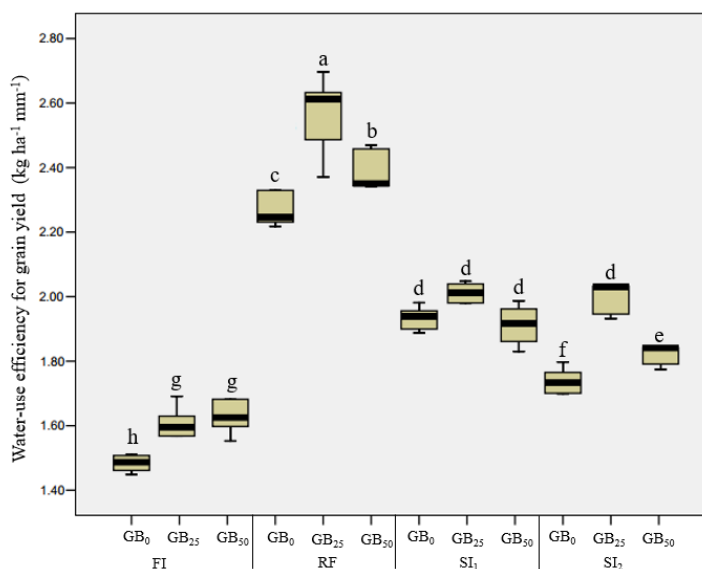


Figure 3. The means comparison of water-use efficiency for grain yield in chickpea plants grown at different levels of irrigation and sprayed with different concentrations of glycine betaine. FI: full irrigation, RF: rainfed condition without irrigation, SI₁: application of supplementary irrigation in the early flowering stage, SI₂: application of supplementary irrigation in the flowering stage and during podding stage, GB₀: sprayed with distilled water (control), GB₂₅: foliar application of 25 Mm glycine betaine, GB₅₀: foliar application of 50 Mm glycine betaine.

Şekil 3. Farklı sulama seviyelerinde yetiştirilen ve farklı konsantrasyonlarda glisin betain uygulanan nohut bitkilerinde tane verimi için su kullanım verimliliğinin karşılaştırılması

Foliar spray of GB₂₅ under RF and SI₂ significantly improved WUEg. Similarly, the highest harvest index was also observed under FI + GB₅₀ conditions, and the plants grown in non-irrigated conditions had the lowest harvest index. The effect of irrigation on the harvest index was much noticeable than foliar spray of GB. The highest seed protein content was recorded under GB₅₀+ SI₂ conditions, and the plants grown under full irrigation conditions and without foliar application of GB showed the lowest amount of protein (Figure 4). It is interesting to note that under supplementary irrigation conditions the use of high concentrations of GB caused a significant increase in seed protein. These results further approve the idea of increasing or stimulating the allocation of nitrogenous compounds from the vegetative parts to the filling seeds under drought stress conditions increases the percentage of seed protein (Samineni et al., 2022). However, recently Benali et al. (2023) reported that severe drought stress can reduce seed protein content through disruption of seed growth processes and re-supply of nitrogenous compounds.

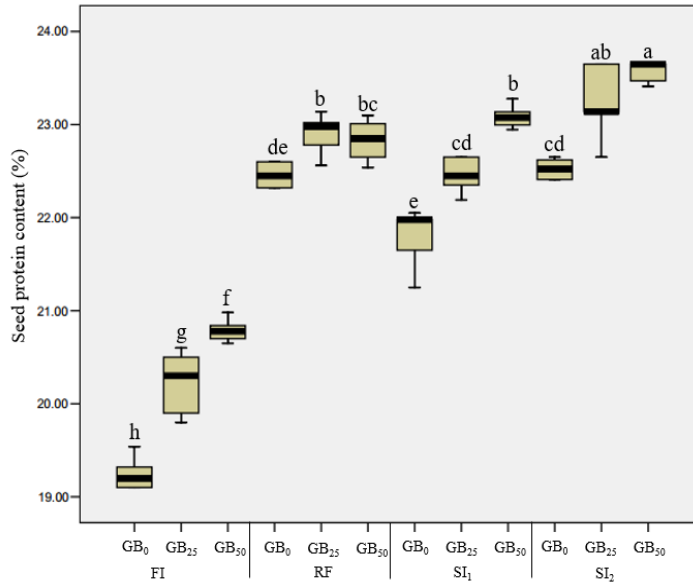


Figure 4. The effect of external application of glycine betaine in different supplementary irrigation conditions on chickpea seed protein percentage. FI: full irrigation, RF: rainfed condition without irrigation, SI₁: application of supplementary irrigation in the early flowering stage, SI₂: application of supplementary irrigation in the flowering stage and during podding stage, GB₀: sprayed with distilled water (control), GB₂₅: foliar application of 25 Mm glycine betaine, GB₅₀: foliar application of 50 Mm glycine betaine.

Şekil 4. Farklı sulama koşullarında glisin betain harici uygulamasının nohut tohumu protein yüzdesine etkisi.

The principal component analysis related to the effects of the investigated treatments is depicted in Figure 5. The first component was able to distinguish the optimal moisture conditions (FI and SI₂) that had the best effect on growth and yield components. The second component was also able to separate the best effective combined treatment on growth characteristics such as FI+GB₅₀, SI₂+GB₅₀, SI₁+GB₂₅ from other treatments.

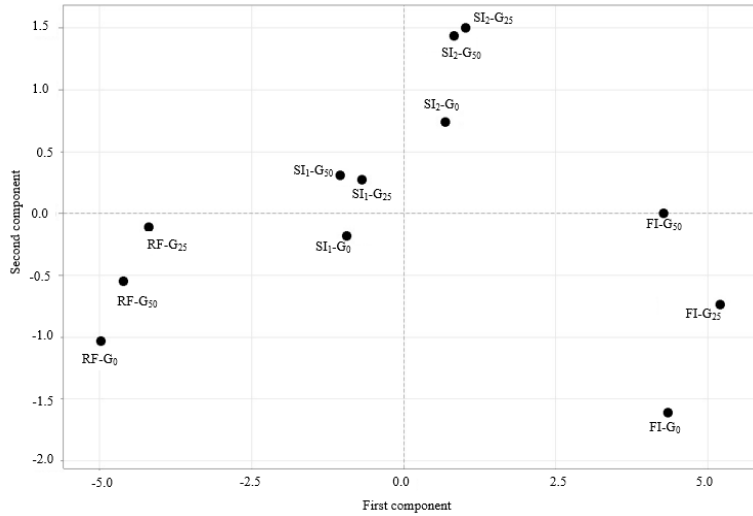


Figure 5. Principal component analysis (PCA) plot from the first 2 PCs. FI: full irrigation, RF: rainfed condition without irrigation, SI₁: application of supplementary irrigation in the early flowering stage, SI₂: application of supplementary irrigation in the flowering stage and during podding stage, GB₀: sprayed with distilled water (control), GB₂₅: foliar application of 25 Mm glycine betaine, GB₅₀: foliar application of 50 Mm glycine betaine.

Şekil 4. İlk 2 PC'den temel bileşen analizi (PCA) grafiği.

CONCLUSIONS

The results obtained from the study showed that due to the insignificant amount of rainfall during the season and insufficient soil moisture reserves, the rainfed cultivation of chickpeas resulted in a low and unacceptable yield. Applying two supplementary irrigation during flowering and podding stages increased grain yield by 60% compared to rainfed conditions. Although foliar application of GB compared to irrigation levels had a negligible effect on the studied traits, low concentrations of GB under moisture limited conditions stimulated vegetative growth and improved some yield components. The impact of GB was more evident under favorable soil moisture conditions than rainfed conditions. Application of two supplementary irrigation (SI₂) could significantly improve chlorophyll content, seed yield, water use efficiency and harvest index compared to rainfed conditions. Even though the amount of water consumed under the SI₂ condition was half of the full irrigation condition, an acceptable grain yield was produced and this irrigation program saved 300 mm of water. The amount of water saved is very important from the aspects of subsequent crop management, irrigation traffic, and limited available water resources for full irrigation systems. The current results emphasize the use of precise and reduced irrigation methods instead of full and conventional irrigations. It can be stated that considering the worsening of the problem of water shortage due to climate change, it seems necessary to investigate the effect of supplementary irrigation methods during different stages of development and with different irrigation volumes.

Data availability

Data will be made available upon reasonable request.

Author contributions

Conception and design of the study: MJ; sample collection: HK, NS; analysis and interpretation of data: MJ, HK; statistical analysis: NS; visualization: NS; writing manuscript: MJ.

Competing interests

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 work was supported financially by research grants provided by University of Maragheh.

Article description: This article was edited by Section Editor Prof. Dr. Fatma AYKUT TONK.

REFERENCES

- Ayaz, S., B. A. McKenzie & G. D. Hill, 1999. The effect of plant population on dry matter accumulation, yield and yield components of four grain legumes. *Interaction*, 105 (5.1): 4-5.
- Benali, A., N. El Haddad, S.B. Patil, A. Goyal, K. Hejjaoui, A. El Baouchi, F. Gaboun, M. Taghouti, M. Ouhssine & S. Kumar, 2023. Impact of terminal heat and combined heat-drought stress on plant growth, yield, grain size, and nutritional quality in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Plants*, 12 (21): 3726-3731. <https://doi.org/10.3390/plants12213726>
- Clendennen, S.K. & N.W. Boaz, 2019. "Betaine Amphoteric Surfactants-Synthesis, Properties, and Applications, 447-469". In: *Biobased Surfactants 2nd Edition* (Eds. D.G. Hayes, D.K.Y. Solaiman & R.D. Ashby). Academic Press and AOCS Press, 541 pp.
- Doaei, S., E. Pazirab, S. Mahmoudi & A.M. Torkashvand, 2020. Role of conservative agriculture in the sustainability of soil structure in achieving sustainable management. *International Journal of Agricultural Management and Development (IJAMAD)*, 10 (1): 59-69.

- Giri, J. (2011). Glycinebetaine and abiotic stress tolerance in plants. *Plant Signaling & Behavior*, 6 (11): 1746-1751. <https://doi.org/10.4161/psb.6.11.17801>
- Hasanuzzaman, M.D., L. Shabala, T.J. Brodribb, M. Zhou & S. Shabala, 2016. Assessing the suitability of various screening methods as a proxy for drought tolerance in barley. *Functional Plant Biology*, 44 (2): 253-266.
- Ibrahim, E.A., N.E. Ebrahim & G.Z. Mohamed, 2023. Effect of water stress and foliar application of chitosan and glycine betaine on lettuce. *Scientific Reports*, 13 (1): 17274. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-43992-0>
- Korbu, L., B. Tafes, G. Kassa, T. Mola & A. Fikre, 2020. Unlocking the genetic potential of chickpea through improved crop management practices in Ethiopia. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 40 (1): 1-20. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00618-3>
- Nikolaou, G., D. Neocleous, A. Christou, E. Kitta & N. Katsoulas, 2020. Implementing sustainable irrigation in water-scarce regions under the impact of climate change. *Agronomy*, 10 (8): 1120-1127. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081120>
- Oweis, T., A. Hachum & M. Pala, 2004. Water use efficiency of winter-sown chickpea under supplemental irrigation in a Mediterranean environment. *Agricultural Water Management*, 66 (2): 163-179.
- Pandey, V. & A. Shukla, 2016. "Improving Crop Yield Under Drought Stress Through Physiological Breeding, 331-348". In *Drought Stress Tolerance in Plants Vol 1, Physiology and Biochemistry* (Eds. M.A. Hossain, S.H. Wani, S. Bhattacharjee, D.J Burritt & L.-S.P. Tran). Cham: Springer International Publishing, Cham, 526 pp.
- Pasandi, M., M. Janmohammadi & R. Karimizadeh, 2014. Evaluation of genotypic response of Kabuli chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars to irrigation regimes in Northwest of Iran. *Agriculture (Pol'nohospodárstvo)*, 60 (1): 22-30. <https://doi.org/10.2478/agri-2014-0003>
- Phiri, C.K., K. Njira & G. Chitedze, 2023. An insight of chickpea production potential, utilization and their challenges among smallholder farmers in Malawi-A review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14 (1): 100713. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100713>
- Rani, A., P. Devi, U.C. Jha, K.D. Sharma, K.H. Siddique & H. Nayyar, 2020. Developing climate-resilient chickpea involving physiological and molecular approaches with a focus on temperature and drought stresses. *Frontiers in Plant Science*, 10: 1759. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01759>
- Reddy, S.J., 1983. A simple method of estimating the soil water balance. *Agricultural Meteorology*, 28 (1): 1-17.
- Salama, Y.A., 2022. Effect of glycine betaine, chitosan and salicylic acid on pepper plants under salt water irrigation conditions. *Egyptian Journal of Desert Research*, 72 (2): 353-363.
- Samineni, S., M.D. Mahendrakar, A. Hotti, U. Chand, A. Rathore & P. M. Gaur, 2022. Impact of heat and drought stresses on grain nutrient content in chickpea: Genome-wide marker-trait associations for protein, Fe and Zn. *Environmental and Experimental Botany*, 194: 104688. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104688>
- Seleiman, M.F., N. Al-Suhaibani, N. Ali, M. Akmal, M. Alotaibi, Y. Refay, T. Dindaroglu, H.H. Abdul-Wajid & M.L. Battaglia, 2021. Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants*, 10 (2): 259. Doi: 10.3390/plants10020259
- Singh, G., H. Ram, N. Aggarwal & N.C. Turner, 2016. Irrigation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) increases yield but not water productivity. *Experimental Agriculture*, 52 (1): 1-13. <https://doi.org/10.1017/S0014479714000520>
- Sreenivasulu, N. & U. Wobus, 2013. Seed-development programs: a systems biology-based comparison between dicots and monocots. *Annual Review of Plant Biology*, 64: 189-217.
- Yang, Y., J. Xia, X. Fang, H. Jia, X. Wang, Y. Lin, S. Liu, M. Ge, Y. Pu, J. Fang & L. Shangguan, 2023. Drought stress in 'Shine Muscat' grapevine: consequences and a novel mitigation strategy-5-aminolevulinic acid. *Frontiers in Plant Science*, 14: 1129114. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1129114>



Araştırma Makalesi (Research Article)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2024, 61 (2):201-215
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1391905>

Haşim KAYCI^{1*}

Ramazan GÜRBÜZ²

Harun ALPTEKİN³

^{1*} İğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi,
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Tarım Bilimleri
Anabilim Dalı, 76000, Merkez, İğdir, Türkiye

² İğdir Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki
Koruma Bölümü, 76000, Merkez, İğdir,
Türkiye

³ İğdir Üniversitesi, Ziraat Fakültesi,
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Tarım Bilimleri
Anabilim Dalı, 76000, Merkez, İğdir, Türkiye

* Sorumlu yazar (Corresponding author):

hasimkayci76@gmail.com

Anahtar sözcükler: Fitotoksik etki, herbisit,
kinoa, sirken, yabancı ot mücadelesi

Keywords: Phytotoxic effect, herbicide,
quinoa, fat hen, weed control

Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)'da yabancı ot kontrolünde bazı herbisitlerin etkinliği*

Weed control efficacy of some herbicides in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)

* Bu makale Haşim KAYCI'nın yüksek lisans tezinden özetlenmiştir ve Türkiye Herboloji kongresinde poster bildirili olarak sunulmuştur.

Received (Alınış): 16.10.2023

Accepted (Kabul Tarihi): 23.04.2024

ÖZ

Amaç: Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) üretiminde önemli verim ve kalite kayıplarına neden olan yabancı otların kontrolü amacıyla farklı aktif maddeli herbisitlerin etkinliği araştırılmıştır.

Materyal ve Yöntem: araştırma 2020 yılında yürütülmüş ve Çalışmada üç ekim öncesi (Lenacil (L), Chloridazon (C), S-metolachlor + Benoxacor (SMB) ve üçü çıkış sonrası (Haloxypop-R- Methyl-Ester (HM), Fluazifop-p-butyl (F), Ethofumasate+ Phenmedipham + Desmedipham +Lenacil (EPDL)) olmak üzere 6 farklı aktif maddeli herbisit kullanılmıştır.

Araştırma Bulguları: Deneme alanında 5 familyaya ait toplamda 9 yabancı ot türü tespit edilmiştir. Yapılan değerlendirmelerde herbisitlerin yabancı ot popülasyonu üzerine etkilerinde genel olarak değerlendirme süreleri boyunca artış gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda herbisitlerin yabancı ot popülasyonu üzerine etkileri %16.25 ile %83.75 oranları arasında değişiklik göstermiştir. Çalışmada en yüksek yabancı ot kuru ağırlığı üzerine yüzde etki SMB (%85.71) herbisitinde elde edilmiştir. L ve EPDL herbisitleri kinoaya fitotoksik etki gösterip verimi büyük oranda düşürmüştür. C ve SMB herbisitleri ise kısmen kinoada fitotoksik etkiye neden olmuşlardır. En yüksek biyolojik verim 1005.60 kg/da ile yabancı otsuz kontrol parselinden elde edilmiştir.

Sonuç: Kullanılan herbisitler yabancı otlar üzerinde etkili olmalarına rağmen, bazı herbisitlerin kinoada fitotoksik etkiye neden olduğu ve verimi düşürdüğü görülmüştür.

ABSTRACT

Objective: The objective of this study was to investigate the effectiveness of herbicides with different active ingredients to control weeds that cause significant yield and quality losses in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) production.

Material and Methods: The study was conducted in 2020 and three were pre-planting (Lenacil (L), Chloridazon (C), S-metolachlor+ Benoxacor (SMB)) and three were post-emergence (Haloxypop-R- Methyl-Ester (HM), Fluazifop-p-butyl (F), Ethofumasate + Phenmedipham + Desmedipham + Lenacil (EPDL)) herbicides with 6 different active ingredients were used.

Results: A total of 9 weed species belonging to 4 families were detected in the trial area. It was observed that during the assessment periods, the effects of herbicides on the weed population generally increased over time. As a result of the study, it was found that the effects of herbicides on the weed population varied between 16.25% and 83.75%. The study revealed that the herbicide SMB yielded the most significant impact on weed dry weight, demonstrating an effectiveness of 85.71%. The L and EPDL herbicides had a phytotoxic effect on quinoa and greatly reduced the yield. C and SMB herbicides partially caused phytotoxic effects on quinoa.

Conclusion: The highest biological productivity was obtained from the weed-free control plot with 1005.60 kg/da. Although the herbicides used were effective on weeds, it was observed that some herbicides caused phytotoxic effects on quinoa and reduced the yield.

GİRİŞ

Altın tahıl (Angeli et al., 2020; Sevindik vd., 2021) olarak adlandırılan kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Amaranthaceae familyasına ait tek yıllık bir bitki olup (Eğritaş vd., 2020), ekimi, MÖ 5000'den MÖ 3000'e uzanan Güney Amerika And Dağları kökenlidir. Zengin protein içeriği ve esansiyel amino asitlerin dengesi nedeniyle insanlar tarafından tüketilmekte olup (Jancurova, 2009), İnkâ uygarlığının tarihi boyunca kutsal bir gıda olarak kabul edilmektedir (Jacobsen, 2003; Repo-Carrasco et al., 2003; González et al., 2015; Navruz-Varli & Sanlier, 2016). Yüksek besin değeri ile dikkat çeker ve daha da önemlisi hava, iklim ve toprak koşullarına karşı oldukça dayanıklı bir bitkidir (Navruz-Varli & Sanlier, 2016). Kinoa 2021 yılında dünyada 191.676 ha alana ekilip, 147.038 ton üretilmiştir (FAO, 2023). Gıda ve Tarım Örgütü'nün (FAO) belirlediği değerlere yakın değerleri ve insan yaşamı için gerekli tüm amino asitleri sağlayan birkaç bitkiden biridir ve özellikle lizin bakımından fakir tahıl proteinlerinin aksine kinoa proteinleri yüksek kaliteli proteinler olarak kabul edilmektedir (Jancurova, 2009). Kinoa bitkisi tohumun zengin protein, mineral, vitamin, linolenat ve doğal antioksidant yağ içeriğinden dolayı (Repo-Carrasco et al., 2003; Navruz-Varli & Sanlier, 2016; Angeli et al., 2020; Sevindik vd., 2021), insan gıdası olarak yaygın bir şekilde kullanılmasının yanında, sığır, domuz veya kümes hayvanları gibi çiftlik hayvanlarının beslenmesinde de zengin bir besin kaynağı olarak (Bhargava et al., 2006), ayrıca sanayide kinoa tohumları un haline getirilerek insanların tükettiği çeşitli ürünlerin yapımında bunun yanında bitki ve tohum kabuklarında bulunan saponin maddesi sabun, deterjan, şampuan, yangın söndürücü, ilaç ve kozmetik ürünleri yapımında kullanılır. Ayrıca Güney Amerika'da yerli halk arasında çamaşır deterjanı olarak ve cilt yaralanmalarının iyileştirilmesine yardımcı antiseptik olarak kullanılmaktadır (Tan & Temel, 2019). Özellikle son zamanlarda Amerika Birleşik Devletleri, Avrupa ve Asya'da bu ürüne olan ilgi artmıştır. Kinoa, FAO tarafından gelecek yüzyılda gıda güvenliği sağlayacak ürünlerden biri olarak seçilmiştir (Jacobsen, 2003). Kinoa, menşe bölgelerinde geleneksel olarak düşük verimli bir ürün olmasına rağmen, yukarıda belirtilen faydalarına yönelik artan talep, üretimin artmasına neden olmuştur. Fakat kinoa üretiminde verim ve kaliteyi düşüren etmenler bulunmaktadır (Tan & Temel, 2019). Bu etmenlerin başında yabancı otlar gelmektedir (Jacobsen et al., 2010; Kırgeç, 2018; Merino et al., 2020; Tan & Temel, 2019).

Yabancı otlar diğer kültür bitkilerde olduğu gibi (Günçan & Karaca, 2018; Alptekin & Gürbüz, 2022; Alptekin ve ark., 2022, 2023; Doğru & Kitiş, 2023), kinoa da sınırlayıcı bir faktördür; su, besin maddeleri ve ışık gibi faktörler için rekabet ettikleri için verimi doğrudan etkilerler (Merino et al., 2020). Bununla birlikte, yabancı ot müdahalesi yalnızca ürün verimini etkilemekle kalmaz, aynı zamanda bitkiler içinde önemli işlevleri yerine getiren bitki ikincil metabolitlerinin miktarını da değiştirir (Olivoto et al., 2016). Ayrıca kinoa da yabancı otlar ile mücadele edilmediğinde protein içeriğinin düştüğü ve yabancı otlar kontrol edildiğinde ise önemli ölçüde arttığı bildirilmiştir (Jacobsen et al., 2010). Kinoa erken dönemde toprak yüzeyinde yeterli bir gölgeleme yapamadığından yabancı otlarla rekabet gücü oldukça düşüktür. Dolayısıyla bu dönemde yabancı ot kontrolü oldukça önem arz etmektedir (Tan & Temel, 2019). Kinoa tarımında yabancı otlara karşı etkili bir mücadelenin yapılması gerekir. Aksi takdirde yabancı otlar verimi düşürmekte ve ürüne karışarak pazar değerini azaltmaktadır. Ekim öncesi temiz bir tohum yatağı hazırlamak ve çıkış öncesi herbisitler kullanmak ilk akla gelen mücadele yöntemleridir. Kinoa geniş alanlarda ekildiğinden sıra üzeri yabancı otların çapalanması pratik ve ekonomik değildir. Bu nedenle çıkış sonrası sıra üzerindeki yabancı otlar için herbisit kullanmak en pratik çözümdür (Eğritaş vd., 2020). Tuusis (2020), kinoa bitkisinin yabancı otlara iyi bir rakabet gücü olmadığı için yabancı otların kontrol edilmesinde herbisitlere ihtiyaç duyulduğunu belirtmiştir.

Yabancı otlar, kinoa'nın verimini artırmasının önündeki en büyük engeldir. Hali hazırda, kinoa yetiştiriciliğinde çıkış sonrası yabancı ot kontrolü için dikkate değer bir araştırma ve kullanılabilir uygun herbisitler bulunmamaktadır (Abbaspoor, 2022). Ülkemizde henüz yaygın olarak tarımı yapılmayan, ancak ilerleyen zamanlarda yaygınlaşacağı düşünülen kinoa'da bulunan yabancı otların mücadelesinde kullanılabilir herbisitlerin tespiti için geniş çaplı araştırmaların ve denemelerin yapılması gerektiği görülmektedir (Kırgeç, 2018). Bu çalışmanın amacı kinoa'da ekim öncesi ve ekim sonrası herbisitlerin yabancı ot popülasyonu, yabancı ot kuru ağırlığı ve kinoa verimi üzerine etkilerini belirlemektir.

MATERYAL ve YÖNTEM

Araştırma İğdır Üniversitesi Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezinde (39°55'45.6"N 44°05'42.3"E) 2020 yılında yürütülmüştür. Deneme alanının toprak analizleri için ekim öncesi 0-30 cm derinlikten deneme alanını temsil edecek şekilde yeterli miktarda toprak örnekleri alınmıştır. Deneme alanının toprak özellikleri; pH (7.9), tekstür: killi tınlı, kireç (%11.32), P₂O₅ (0.8 kg/da), K₂O (9.28 kg/da), organik madde (%1.8) ve toplam tuz (%2) olarak bulunmuştur. Çalışmanın yürütüldüğü aylara ve uzun yıllar ortalamasına (1941-2020 yılları) ait iklim verileri Çizelge 1'de, çalışmada kullanılan herbisitler ve genel özellikleri Çizelge 2'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Çalışmanın yürütüldüğü 2020 yılında aylara ait ve uzun yıllar (1941-2020) ortalaması (UYO) iklim verileri

Table 1. LTP (1941-2020) climate data for the months in 2020

Aylar	Ortalama Sıcaklık (°C)		Toplam Yağış (mm)		Ortalama Nispi Nem (%)	
	2020	UYO (1941-2020)	2020	UYO (1941-2020)	2020	UYO (1941-2020)
Mart	10.44	6.2	18.1	22.1	65.6	52.2
Nisan	11.49	13	83.6	33.8	76.6	49.9
Mayıs	18.8	17.7	76.1	46.5	63.1	51.5
Haziran	24.19	22.1	15.7	32	48.3	47.3
Temmuz	26.7	25.9	30.2	13.7	48.4	45.3
Ağustos	24.2	25.3	15.3	9.7	47.6	47.1
Eylül	23.5	20.4	1.4	11.5	47.7	46.2
Ekim	14.5	13.1	7.3	26.3	49.6	48.53

UYO: Uzun Yıllar Ortalaması

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan herbisitler ve genel özellikleri

Table 2. Herbicides used in the study and their general properties

Kod	Aktif Madde	Ticari adı ve Firma	F	EM	UD	UZ
L	%80 Lenacil	Nart 80 / Safa Tarım	WP	5	100g/da	Ekim öncesi
C	430 g/l Chloridazon	Zoekon/ Hektaş	SC	5	500g/da	Ekim öncesi
MB	915 g/l S-Metolachlor + 45 g/l Benoxacor (safener)	Sonchus /Platin Kimya	EC	23	150ml/da	Ekim öncesi
HM	108 g/l Haloxyfop-P-methyl ester	Efdal Superhalox/Tarkim Bitki Kotuma	EC	1	60ml/da	Çıkış sonrası
F	150 g/l Fluzafop-p-butyl	Fusilade Forte /Syngenta Crop Protection Ag	EC	1	100ml/da	Çıkış sonrası
EPDL	47 g/L Desmedipham +75 g/L Ethofumesate + 27 g/L Lenacil + 60 g/L Phenmedipham	Betanal® maxxPro/Bayer	OD	5/8	150ml/da	Çıkış sonrası

F: Formülasyon, EM: Etki Mekanizması HRAC kodu, UZ: Uygulama Zamanı, UD: Uygulama Dozu

WP=Islanabilir Toz, SC=Süspansiyon Konsantre, EC= Emülsiyon konsantre, OD= Yağ dispersiyonu, grup 5=Fotosentez II inhibitörü (PS II), grup 1=ACCCase enzim inhibitörü, grup 23= Çok uzun zincirli fatty asit sentez inhibitörü, grup 8 = Lipit sentez inhibitörü (ACCCase olmayan)

Çalışmada kullanılan aktif maddeler oranları Lenacil 80 g/da, Chloridazon 215 g/da, S-Metolachlor + Benoxacor 137 g/da + 6,75 g/da, Haloxyfop-P-methyl ester 6,48 g/da, Fluzafop-p-butyl 15 g/da ve Desmedipham 7,05 g/da + Ethofumesate 11,25 g/da+ Lenacil 4,05 g/da + Phenmedipham 9 g/da olacak şekilde uygulanmıştır.

Kinoa ekimi ve bakımı

Çalışmada *Titicaca* kinoa çeşidine ait tohumlar kullanılmıştır. Kinoa tohumları ekilmenden önce deneme alanı kùltivatör ile sürülüp toprak hazırlığı yapılmıştır. Araştırmanın yürütüldüğü İğdır Üniversitesi

Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezinde 29.04.2020 tarihinde kinoa tohumları tavlı toprağa 20 x30 cm sıra üzeri ve sıra arası mesafe olacak şekilde elle ekilmiştir. Ekimden önce 30 kg/da NPK gübresi toprağa karıştırılarak uygulanmıştır. Kinoa tohumu ekiminden sonra yağmurlama sulama sistemi kurulmuş ve ekimden hemen sonra ilk sulama yapılmıştır. Sonrasında yağış durumu ve bitkinin su ihtiyacı da göz önünde bulundurularak haftada 1 olacak şekilde sulama yapılmıştır. Yabancı otsuz (çapa) parsellerinde yabancı ot çıkışıyla birlikte elle yolma ve el çapası ile 5 defa çapalama işlemi yapılmıştır.

Denemenin kurulması

Çalışma tesadüf blokları deneme desenine göre 8 karakterli (ekim öncesi 3 (Lenacil, Chloridazon, S-metolachlor+Benoxacor) çıkış sonrasında 3 (Haloxypop-R-Methyl-Ester, Fluazifop-p-butyl, Ethofumasate+ Phenmedipham + Desmedipham +Lenacil), yabancı otlu ve yabancı otsuz kontrol) ve 4 tekerrürlü olmak üzere toplamda 32 parsel olacak şekilde kurulmuştur. Parselizasyon işlemi, ekim öncesi herbisitlerin kullanımından önce yapılmıştır. Çalışmada parseller 10m² (4m x 2,5m) olacak şekilde hazırlanmış parseller arasında 1.2 m'lik, bloklar arasında ise 1.2 m'lik güvenlik şeritleri bırakılmıştır.- Çalışmada ekim öncesi herbisitler uygun hava koşulları altında kinoa ekiminden 3 gün önce 29.04.2020, çıkış sonrası herbisitler ise 20.05.2020 tarihinde uygulanmıştır. Yabancı ot türleri 2-6 yapraklı dönemde olduklarında herbisit uygulaması yapılmıştır. Çalışmada kullanılan herbisitler; 25 litre depo kapasiteli, benzin motorlu, yelpaze hüzmeli başlıklara sahip sırt pülverizatörü ile uygulanmıştır.

Deneme alanında bulunan yabancı ot türlerinin ve yoğunlukların belirlenmesi

Çalışmada deneme alanında bulunan yabancı ot türlerini ve bu türlerin yoğunluklarını belirlemek amacıyla deneme kurulmadan önce deneme alanında 1 m² boyutlarında çerçeve kullanılıp, 10 defa rastgele atılarak çerçeve içerisinde bulunan yabancı otlar sayılmıştır. Yabancı otların yoğunluklarının belirlenmesinde aritmetik ortalama esas alınarak değerlendirme yapılmıştır. Yabancı ot yoğunlukları (bitki/m²) toplam m²'deki bitki sayısı, atılan çerçeve sayısına bölünerek türlerin teker teker yoğunlukları hesaplanmıştır (Odum, 1971) (Eşitlik 1).

$$\text{Yoğunluk (adet/m}^2\text{)} = \frac{B}{M} \quad (1)$$

B; Alınan örnekte toplam birey sayısı (adet)

M; atılan çerçeve sayısı (m²)

Ayrıca Üstüner & Güncan (2002), göre aşağıdaki gibi kullanılan yoğunluk ölçeği (Çizelge 3) ile deneme alanında bulunan yabancı ot türlerinin yoğunlukları derecelendirilmiştir.

Çizelge 3. Yoğunluk ölçeği

Table 3. Density scale

Derecelendirme	Yoğunluk seviyesi	Yoğunluk (adet/m ²)
A	Yüksek yoğunluklu	10+
B	Yoğun	1 - 10
C	Orta yoğun	0,1 - 1
Ç	Düşük yoğunluklu	0.01 – 0.1
D	Nadir	0.01'den az

Araştırmada herbisitlerin yabancı ot popülasyonu ve türleri üzerine etkilerinin belirlenmesi

Çalışmada herbisitlerin yabancı ot popülasyonu ve türleri üzerindeki etkilerini belirlemek için deneme süresi boyunca belirli aralıklarla 4 defa değerlendirme yapılmıştır (Çizelge 4).

Çizelge 4. Çalışmada yapılan değerlendirme ve değerlendirme aşamaları**Table 4.** Evaluation and evaluation steps in the study

Ekim öncesi uygulamada	
Değerlendirme	Değerlendirme zamanı
1. Değerlendirme	Kontrol parsellerinde kültür bitkisi çıkışlarının tamamlanmasından sonra
2. Değerlendirme	Birinci değerlendirmeden 20 gün sonra
3. Değerlendirme	Kültür bitkisi çiçeklenmeden hemen önce,
4. Değerlendirme	Hasattan önce
Çıkış sonrası uygulamada	
Değerlendirme	Değerlendirme zamanı
1. Değerlendirme	Uygulamadan 10 gün sonra,
2. Değerlendirme	Uygulamadan 30 gün sonra,
3. Değerlendirme	Kültür bitkisi çiçeklenmeden hemen önce,
4. Değerlendirme	Hasattan önce

Değerlendirme sırasında yabancı ot popülasyonu ve türleri kontrole göre meydana gelen azalmalar, boyda kısalma veya zarar görme şeklinde ifade edilerek kaydedilmiştir. Uygulama yapılmış parseller, kontrol parseller ile karşılaştırılarak yabancı ot popülasyonundaki azalma yüzdesi belirlenmiştir. Çalışmada herbisitlerin yapılan değerlendirmelerde yabancı otlar üzerindeki yüzde etki oranları aşağıdaki formüle göre belirlenmiştir (Abbott, 1925) (Eşitlik 2). Çalışmada ayrıca uygulamada kullanılan herbisitlerin kinoa üzerindeki fitotoksik etkisi de değerlendirilmiştir.

$$\text{Herbisit Yüzde etki (\%)} = \frac{(\text{Kontroldeki Y.Ot Sayısı Ortalaması} - \text{Uygulamadaki Yabancı Ot Sayısı Ortalaması})}{\text{Kontroldeki Y.Ot Sayısı Ortalaması}} \times 100 \quad (2)$$

Herbisitlerin yabancı ot kuru ağırlıkları üzerine etkileri

Çalışmada her parselde bulunan yabancı otlar son sayımdan sonra hasattan önce toprak yüzeyine sıfır olacak şekilde makasla kesip ayrı ayrı torbalara konulmuştur. Sonrasında Iğdır Üniversitesi Ziraat Fakültesi Herboloji Laboratuvarına götürülüp yabancı otlar kese kâğıtlarında 70 °C' de 48 saat etüvde bekletildikten sonra alınıp kuru ağırlıkları teker teker tartılıp sayısal veriler kayıt altına alınmıştır. Ayrıca çalışmada kullanılan herbisitlerin yabancı ot kuru ağırlıkları üzerindeki yüzde etkilerini belirlemek için yabancı otlu kontrol parselleri baz alınarak herbisit uygulanan parsellerin yabancı otlar üzerindeki yüzde etkileri belirlenmiştir.

Herbisitlerin kinoa verimi ve verim unsurları üzerine etkileri

Çalışmada kinoa hasadı 17.10.2020 tarihinde yapılmıştır. Her parselden rastgele seçilen 10 bitkide herbisitlerin kinoa bitki boyu (cm), sap kalınlığı (mm), dal sayısı (adet), sap verimi (kg/da), bin tane ağırlığı (gr), kavuzsuz tohum verimi (kg/da), hasat indeksi (%) ve biyolojik verim (kg/da) üzerine etkileri değerlendirilmiştir. Hasat indeksi tohum verimi / (tohum verimi + sap verimi) x 100 formülü kullanılarak hasat indeksi hesaplanmıştır.

Veri analizi

Çalışmada yapılan farklı dört sayım sonucunda parsellerdeki yabancı ot yoğunlukları, yabancı ot kuru ağırlıkları ve kinoa verim ve verim unsurları değerlendirilmiştir. İlgili veriler tek yönlü varyans analizine tabi tutulmuştur. Ortalamalar, Duncan çoklu karşılaştırma testi ($p < 0.05$) (SPSS 20) kullanılarak karşılaştırılmıştır. Bunun yanında çalışmanın bulgularını ilişkilendirmek için bir dizi istatistik analizler yapılmıştır. Verilerin dönüştürülmesi/ normalleştirilmesinden sonra; korelasyon analizi (JASP), ısı haritası kümelemesi (SRplot), ana bileşen analizi (PAST Yazılımı) ve ağ grafiği analizi (PAST yazılımı) yapılmıştır.

ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Yürütülen çalışmada, deneme kurulmadan önce deneme alanında 1 parazit, 1 dar yapraklı ve 3 geniş yapraklı olmak üzere 5 familyaya ait toplamda 9 yabancı ot türü tespit edilmiştir (Çizelge 5).

Çizelge 5. Deneme alanında tespit edilen yabancı ot türleri

Table 5. Weed species detected in the trial area

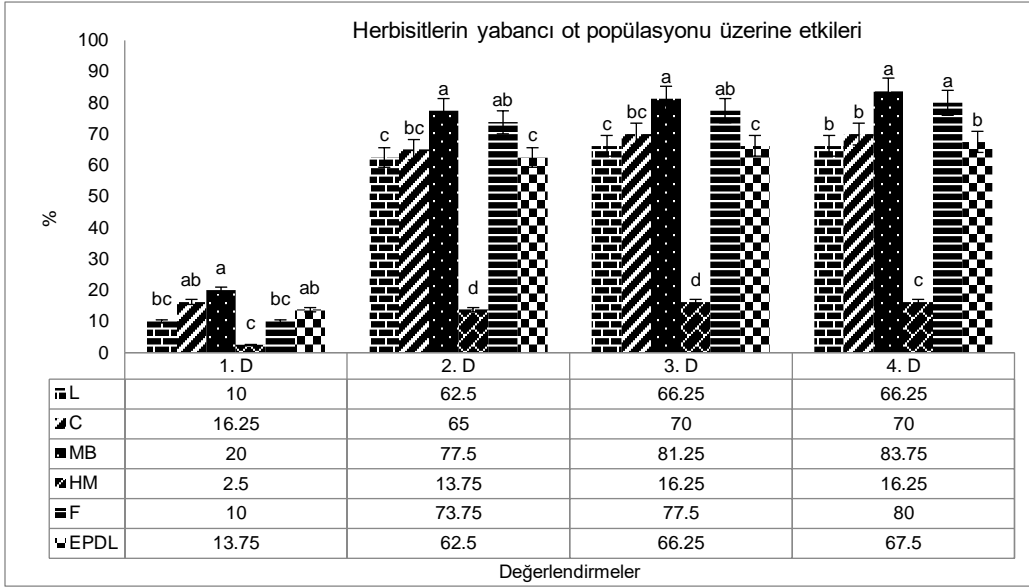
Famulya	Latince adı	Türkçe adı	Yaşam döngüsü	Yoğunluk (adet/m ²)	Yoğunluk derecesi
Dar yapraklı					
Poaceae	<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.	Kanyaş	P	19.25	A
	<i>Setaria viridis</i> L.	Kirpi darı	A	0.9	C
Geniş yapraklı					
Amaranthaceae	<i>Chenopodium album</i> L.	Sirken	A	5.25	B
	<i>Atriplex nitens</i> Schkuhr.	Selvi Sirkeni	P	0.5	C
	<i>Suaeda altissima</i> (L.) PALL	Cirimotu	A	0.5	C
	<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.	Köy göçüren	P	1.5	B
Asteraceae	<i>Xanthium strumarium</i> L.	Domuz pıtrağı	A	13.75	A
Convolvulaceae	<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Tarla sarmaşığı	P	4.3	B
Parazit					
Cuscutaceae	<i>Cuscuta</i> sp.	Küsküt	Parazit	0.1	C

A: Tek Yıllık, P:Çok Yıllık, A =yüksek yoğunlukta =10.00 m², B= Yoğun= 1.00-10.00 m², C= Orta yoğun= 0.10-1.00 m², Ç= Düşük yoğunluklu=0.01-0.10 m²

Tespit edilen familyalardan Amaranthaceae 3 tür, Poaceae 2 tür, Asteraceae 2 tür, Convolvulaceae 1 tür ve Cuscutaceae 1 tür yabancı ota sahip olmuşlardır (Çizelge 5 4). Latorre (2014), kinoa ekim alanlarında *M. officinalis*, *B. campestris*, *P. oleracea*, *Malva* sp ve *C. bursa-pastoris* yabancı otların yoğun şekilde bulunduğunu bildirmişlerdir. Tan & Temel (2019), kinoa ekim alanlarında en fazla görülen yabancı ot türleri; *C. album*, *C. arvensis*, *S. halepense*, *Amaranthus* spp, *Cuscuta* spp, *X. strumarium*, *S. arvensis*, *X. spinosum*, *C. dactylon* ve *L. draba* olduğunu bildirmişlerdir. O'Connel (2015)'in, kinoa denemelerinde en yoğun olarak *C. album*, *A. retroflexus*, *K. scoparia* ve *P. oleracea* yabancı ot türlerini belirlenmiştir. Kakabouki et al. (2015)'nin, çalışmasında ise *C. dactylon*, *A. retroflexus*, *P. oleracea*, *C. album*, *E. crus-galli* ve *C. rotundus* en yoğun yabancı ot türleri olduğunu bildirmişlerdir. Kirgeç (2018), kinoa ekim alanlarında *C. album*, *S. arvensis*, *A. fatua*, *C. arvensis*, *A. retroflexus*, *A. albus*, *X. strumarium* ve *A. repens* yabancı ot türlerini tespit etmiş, yoğunlukları en yüksek yabancı ot türlerinin; *C. album* (5.05 adet/m²), *Sinapis arvensis* L. (4.10 adet/m²) ve *Avena fatua* L. (3.05 adet/m²) olduğunu belirlemiştir. Mevcut çalışmanın yürütüldüğü deneme alanında tespit edilen yabancı ot türlerinin yoğunlukları en yüksek ilk 3 tür sırasıyla: *S. halepense* (19.25 adet/m²), *X. strumarium* (13.75 adet/m²) ve *C. album* (5.25 adet/m²) olmuştur. Yukarıda belirtilen çalışmalarda kinoa ekim alanlarında tespit edilen ve sorun teşkil eden yabancı ot türleri ile yürüttüğümüz çalışmada ekim alanında sorun teşkil eden yabancı ot türleri çoğunlukla benzerlik taşımaktadır. Farklı yabancı ot türlerinin olması ise bölgeden bölgeye farklılık göstermesinden kaynaklanmaktadır.

Herbisitlerin yabancı ot popülasyonu ve türleri üzerine etkisi

Çalışmada kullanılan herbisitlerin yabancı ot popülasyonu üzerine etkilerini belirlemek için yapılan dört değerlendirmede uygulamalar arasındaki farklar istatistiki olarak (p< 0,01) %1 düzeyinde önemli bulunmuştur (Şekil 1).



Şekil 1. Herbisitlerin kinoa da yabancı ot-yoğunluğu üzerine etkileri.

Figure 1. Effects of herbicides on weed density in quinoa.

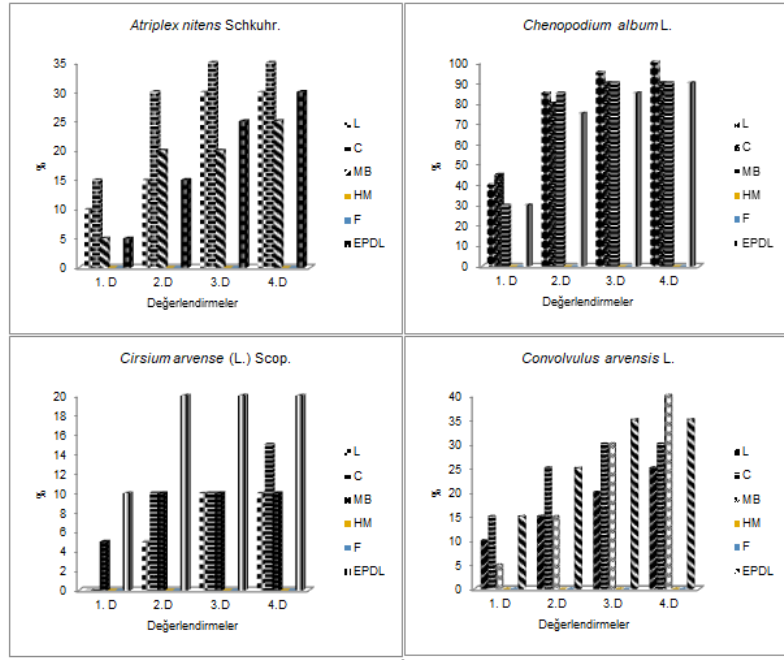
Aynı harfe sahip ortalamalar arasındaki farklar 0,05 düzeyinde anlamlı değildir.

L: Lenacil, C: Chloridazon, MB: S-metolachlor + Benoxacor, HM: Haloxyfop-R-Methyl-Ester, F: Fluazifop-buty, EPDL: Ethofumesate + Phenmedipham + Desmedipham + Lenacil

Çalışmada yapılan değerlendirmelerde herbisitlerin yabancı ot yoğunluğu üzerine etkilerinde genel olarak değerlendirme süreleri boyunca artış gözlemlenmiştir. Yapılan ilk değerlendirmede en yüksek etki %20 oran ile MB'de en düşük etki ise %2,5 olan ile HM'de belirlenmiştir. Yapılan diğer üç değerlendirmede de en yüksek etki oranları MB (%77.5 - %81.25 - %83.75) parsellerinde belirlenmiştir. Aynı şekilde en düşük etki oranları HM (13.75 – 16.25 – 16.25) parsellerinde belirlenmiştir. Santos et al. (2003), O'Connel (2015), Nurse et al. (2016), Merino et al. (2020), Langeroodi et al. (2020), Tuusis (2020) ve Abbaspoor (2022) yaptıkları çalışmada herbisitlerin yabancı otlar üzerinde etkili olup yoğunluğunda azalmalara neden olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmada kullanılan herbisitlerin yapılan dört değerlendirmede *A. nitens* (0,75 adet /m²), *C. album* (7,25 adet /m²), *C. arvense* (1,75 adet /m²) ve *C. arvensis* (4,85 adet/m²) yabancı ot türlerine üzerine etkileri Şekil 2'de verilmiştir.

Çalışmada yapılan son değerlendirmede *A. nitens* üzerinde en yüksek etki oranı L ve EPDL (%30) parsellerinde gözlemlenmiştir. Çalışma süresi boyunca HM ve F herbisitleri *A. nitens*'e etki etmemiştir. Çalışmada HM ve F herbisitleri *C. album*'a etki etmezken diğer herbisitler sırayla L %100, C %90, MB %90 ve EPDL %90 oranlarında etki göstermiştir. *C. arvense* üzerine en yüksek etki %20 oran ile EPDL'de belirlenmiştir. F ve HM herbisitleri etkisiz bulunmuştur. Herbisitlerin *C. arvensis* üzerindeki etkisine baktığımızda en yüksek etki %40 etki oranı ile MB'de belirlenmiş olup, F ve HM herbisitleri ise hiç etki etmemiştir. Herbisitlerin *S. viridis* (1,25 adet/m²), *S. halepense* (26, 25 adet/m²), *S. altissima* (0,75 adet/m²) ve *X. strumarium* (2,75 adet/m²), yabancı ot türleri üzerine etkisi Şekil 3'te sunulmuştur.

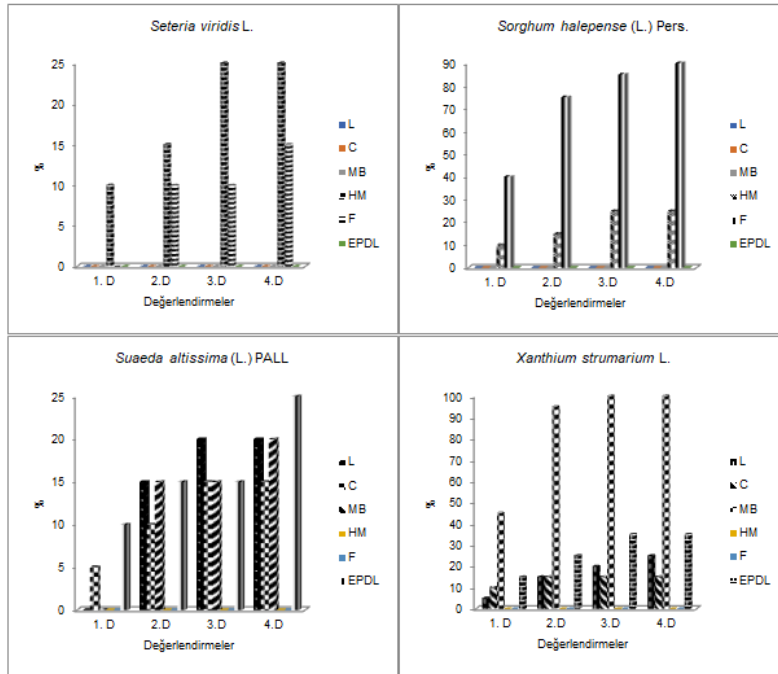
Çalışmada kullanılan herbisitlerden yalnızca 2 herbisit *S. viridis* üzerine etkili olmuşlardır. Bu herbisitler %25 etki oranı ile HM ve %15 oranı ile F olmuştur. *S. halepense* üzerine en yüksek etki F herbisitinde (%90) HM herbisiti ise %25 oranında etki etmiştir. Diğer herbisitler ise *S. halepense* üzerine herhangi bir etkisi olmamıştır. Herbisitlerin *S. altissima* üzerine etkileri sırasıyla %25 etki oranı ile EPDL olmuştur. F ve HM herbisitleri ise *S. altissima*'ya etki etmemişlerdir. Yapılan son değerlendirmede MB herbisiti *X. strumarium* üzerine %100 etki göstermiştir.



Şekil 2. Herbisitlerin *Atriplex nitens*, *Chenopodium album*, *Cirsium arvense* ve *Convolvulus arvensis* yabancı ot türleri üzerine etkileri.

Figure 2. Effects of herbicides on the weed species *Atriplex nitens*, *Chenopodium album*, *Cirsium arvense* and *Convolvulus arvensis*.

L: Lenacil, C: Chloridazon, MB: S-metolachlor + Benoxacor, HM: Haloxyfop-R-Methyl - Ester, F: Fluazifop -buty, EPDL: Ethofumesate + Phenmedipham + Desmedipham + Lenacil



Şekil 3. Herbisitlerin *Seteria viridis*, *Sorghum halepense*, *Suaeda altissima* ve *Xanthium strumarium* yabancı ot türleri üzerine etkisi.

Figure 3. Effect of herbicides on the weed species *Seteria viridis*, *Sorghum halepense*, *Suaeda altissima* and *Xanthium strumarium*.

L: Lenacil, C: Chloridazon, MB: S-metolachlor+Benoxacor, HM: Haloxyfop-R-Methyl - Ester, F: Fluazifop -buty, EPDL: Ethofumesate+Phenmedipham+Desmedipham +Lenacil

Herbisitlerin yabancı ot kuru ağırlıkları üzerine etkisi

Farklı aktif maddeli herbisitlerin kinoada yabancı ot kuru ağırlığı üzerinde istatistiki olarak ($F=233.958$ ve $p<0.01$) %1 olasılık düzeyinde fark meydana geldiği görülmektedir (Çizelge 6).

Çizelge 6. Herbisitlerin yabancı ot kuru ağırlıkları üzerine etkisi

Table 6. Effects of herbicides on weed dry weights

Uygulamalar	Yabancı ot kuru ağırlığı (g/m ²) ± SH	Yüzde etki (%)
Yabancı otsuz	0.00±0,00 ^e	100
F	150.75±4,27 ^c	75,5
HM	426.25±5,54 ^b	25.05
SMB	81.25±4,27 ^d	85.71
C	92.50±4,33 ^d	83.74
Yabancı otlu	568.75±29,46 ^a	0
L	90.50±3,33 ^d	84.09
EPDL	95.75±2,17 ^d	83.16

Aynı harfe sahip ortalamalar arasındaki farklar 0,05 düzeyinde anlamlı değildir.

L: Lenacil, C: Chloridazon, MB: S-metolachlor+Benoxacor, HM: Haloxyfop-R-Methyl - Ester, F: Fluazifop -buty, EPDL: Ethofumesate+Phenmedipham+Desmedipham +Lenacil

Çalışmada en düşük yabancı ot kuru ağırlığı SMB (81.25 g/m²) herbisitinin uygulandığı parsellerde belirlenmiştir. Çalışmada yabancı ot kuru ağırlıkları bakımından F, SMB, C, L, EPDL herbisitleri arasında istatistiki anlamda fark meydana gelmemiştir. Herbisit uygulanan parsellerde en yüksek yabancı ot kuru ağırlığı tek başına bir istatistiki grupta yer alan HM (426.25 g/m²) herbisitinde belirlenmiştir. Ayrıca en yüksek yabancı ot kuru ağırlığı yabancı otlu kontrol (568.75 g/m²) parsellerinde elde edilmiştir. Çalışmada en yüksek yabancı ot kuru ağırlığı üzerine yüzde etki SMB (%85.71) herbisitinde elde edilmiştir. En düşük yüzde etki oranı ise %25,05 ile HM herbisitinde belirlenmiştir. Tuusis (2020), yaptığı çalışma sonucunda en yüksek yabancı ot kuru ağırlığını yabancı otlu kontrol parselinden elde etmiştir. Ayrıca yapılan bazı çalışmalarda (Santos et al., 2003; O'Connel, 2015; Nurse et al., 2016; Merino et al., 2020; Langeroodi et al., 2020; Abbaspoor, 2022) herbisitlerin yabancı otlar üzerinde etkili olduğu ve yabancı otların kuru ağırlıklarında azalmalara sebep olduğu bildirilmiştir.

Herbisitlerin kinoada verim ve verim unsurları üzerine etki

Çalışmada kullanılan herbisitler kinoada bitki boyu, sap kalınlığı, dal sayısı, sap verimi, bin dane ağırlığı, kavuzsuz tohum verimi ve biyolojik verim üzerine istatistiki olarak ($p<0.01$) %1, hasat indeksi üzerine ise %5 düzeyinde fark meydana getirmiştir. Herbisitler bu parametreler üzerinde istatistiki olarak fark meydana getirmelerine rağmen kinoada fitotoksik etki yapmalarından dolayı verimi düşürmüşlerdir (Çizelge 7).

Kavuzsuz tohum verimi ortalamaları 562.20 kg/da ile 247.13 kg/da değerleri arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek tohum verimi yabancı otsuz kontrol parsellerinde elde etmiştir. Çalışmada EPDL, HM ve L herbisitleri ile yabancı otlu kontrol parselleri aynı istatistiki grupta yer almış olup en düşük tohum verimi EPDL herbisitinde elde edilmiştir. Bundan dolayı özellikle yabancı ot kontrolünün kinoanın erken döneminde yapılması gerektiği görülmüştür. Tuusis (2020), kinoa verimi 462.8 ile 847.4 kg/da arasında değiştiğini belirlemiştir. Abbaspoor (2022), en yüksek kinoa tane verimini yabancı otsuz kontrol parsellerinde (3346.7 kg ha⁻¹) elde etmiştir. Çalışmada en yüksek kinoa biyolojik verimi yabancı otsuz kontrol (1005.60 kg/da) parselinde elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan aktif maddeli herbisitler yabancı otlara karşı etkili olmuşlardır, fakat kinoa bitkisine fitotoksik etki göstererek kinoa verim ve verim unsurlarında azalmaya sebep olmuşlardır. Çalışmada kullandığımız Lenacil ve Ethofumesate+ Phenmedipham + Desmedipham +Lenacil herbisitleri

kinoaya büyük oranda fitotoksik etki gösterip verimin büyük oranda düşmesine neden olmuşlardır. Chloridazon ve S-metolachlor + Benoxacor herbisitler ise kısmen kinoaya fitotoksik etkiye neden olmuşlardır. Ayrıca çalışmada kullandığımız Haloxyfop-R- Methyl-Ester herbisiti ise yabancı otlara etki oranının düşük olduğundan dolayı bu herbisit kullanıldığı parsellerde yabancı ot yoğunluğu ve kuru ağırlığı fazla olmuş ve buda kinoaya verimini düşürmesine sebep olmuştur. Kirgeç (2018)'in, kullandığı herbisitlerin büyük çoğunluğu kinoaya fitotoksik etki göstermiştir. Abbaspoor (2022), atrazin, metribuzin, phenmedipham+desmedipham+ethofumesate, oxyfluorfen, bentazon ve oxadiazon püskürtüldüğünde kinoaya üzerinde ciddi fitotoksik etki (%100) gözlemiştir. Ayrıca bazı herbisitler ise kinoada fitotoksik etkiye neden olup verimi düşürmüştür. Santos et al. (2003), imazaquin aktif maddeli herbisit kinoada büyük oranda fitotoksik etki yaptığını ve kullanılan herbisitlerden clomazone'un 500 g ha⁻¹ dozunda uygulandıktan 15-38 gün sonra kinoaya yaprakları üzerinde kloroza neden olduğu ve sonrasında bitkinin tamamen kurummasına sebep olmuştur. O'Connell (2015)'in, çalışmasında, kinoada en yoğun görülen yabancı ot olan sirken ve kinoanın aynı familyaya ait olması ve çok fazla benzerlik göstermelerinden dolayı kullanılabilir herbisit bulunması ile ilgili bir olduğu belirtilmiştir. *C. album*'u kontrol altına alan herbisitlerin kinoaya zarar verebileceği olasılığının göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Çizelge 7. Herbisitlerin kinoaya verim ve verim unsurları üzerine etkileri

Table 7. Effects of herbicides on quinoa yield and yield components

Uygulamalar	Bitki boyu (cm)	Sap kalınlığı (mm)	Dal sayısı (adet)	Sap verimi (kg/da)	Bin dane ağırlığı (g)	Kavuzsuz tohum verimi (kg/da)	Hasat indeksi (%)	Biyolojik verim (kg/da)
C	97.98±1,79 ^d	10.84±0,25 ^c	21.35±0,71 ^b	246.67±12,25 ^b	2.08±0,05 ^b	366.10±15,44 ^d	59.71±2,00 ^{ab}	612.77±10,48 ^d
EPDL	45.81±1,02 ^f	8.27±0,19 ^d	18.52±0,41 ^c	195.40±3,67 ^c	1.83±0,04 ^c	247.12±8,62 ^e	55.80±1,13 ^c	442.52±8,14 ^e
F	127.73±1,38 ^b	12.30±0,25 ^b	22.50±0,53 ^b	251.22±12,86 ^b	2.12±0,02 ^b	392.40±4,01 ^{cd}	61.03±1,19 ^{ab}	643.62±14,29 ^{cd}
HM	56.36±1,90 ^e	8.82±0,24 ^d	18.02±0,56 ^c	202.77±17,59 ^c	1.96±0,01 ^c	257.50±10,81 ^e	55.94±1,92 ^c	460.27±13,77 ^e
L	46.42±1,57 ^f	8.40±0,24 ^d	17.37±0,38 ^c	195.65±4,38 ^c	1.91±0,05 ^c	270.35±12,18 ^e	57.95±0,85 ^{bc}	466.00±15,60 ^e
SMB	104.71±2,86 ^c	10.69±0,19 ^c	21.30±0,41 ^b	239.65±10,52 ^b	2.14±0,01 ^b	423.90±20,27 ^b	63.79±2,06 ^a	663.55±12,43 ^{bc}
Y. otlu	54.27±2,99 ^e	8.31±0,18 ^d	17.95±0,35 ^c	193.87±4,80 ^c	1.85±0,04 ^c	266.20±13,17 ^e	57.78±0,96 ^{bc}	460.07±16,63 ^e
Y. otsuz	157.10±2,33 ^a	16.06±0,33 ^a	26.55±0,50 ^a	443.40±16,77 ^a	2.31±0,02 ^a	562.20±19,11 ^a	55.90±1,18 ^c	1.005.6±26,22 ^e

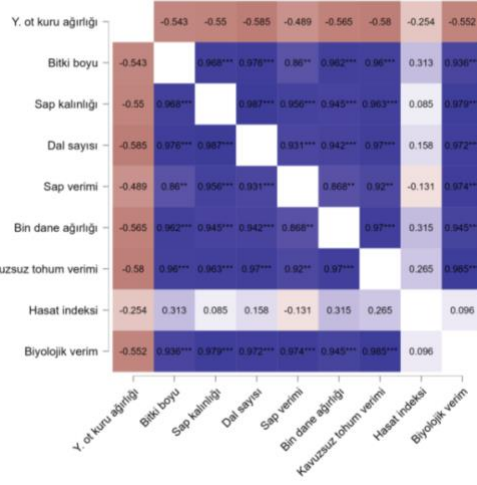
Aynı harfe sahip ortalamalar arasındaki farklar 0.05 düzeyinde anlamlı değildir.

L: Lenacil, C: Chloridazon, MB: S-metolachlor+Benoxacor, HM: Haloxyfop-R-Methyl - Ester, F: Fluazifop -buty, EPDL: Ethofumesate+Phenmedipham+Desmedipham +Lenacil

Parametrelerin ve uygulamaların çok değişkenli analizi

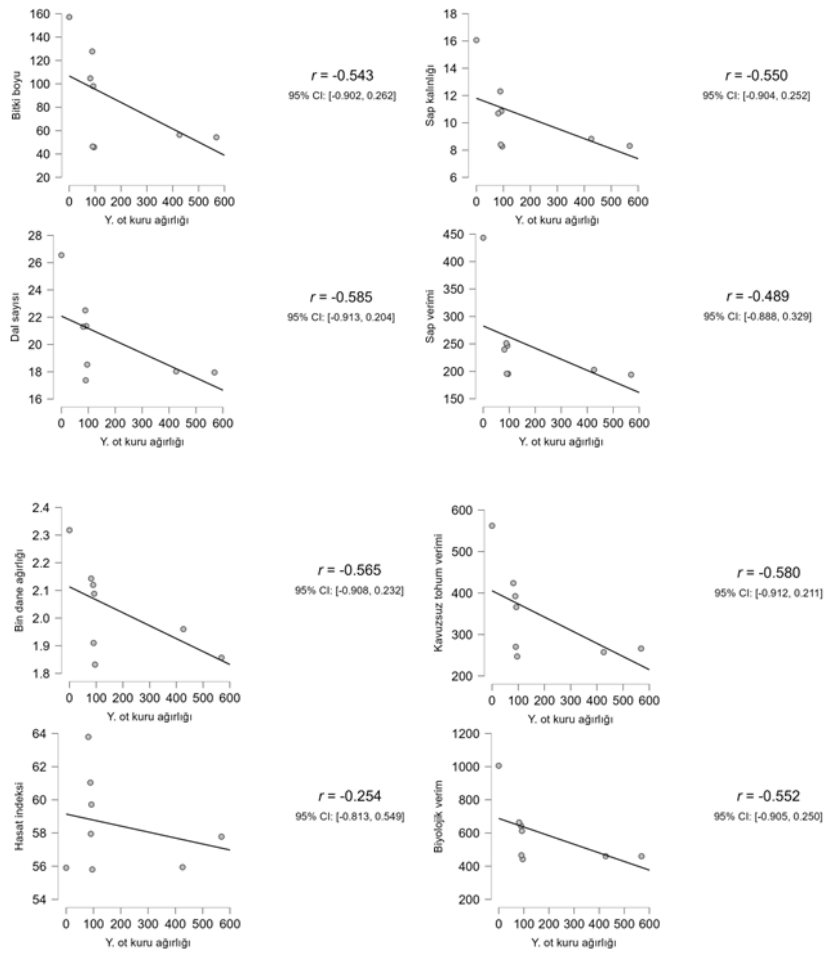
Tek yönlü varyans analizine ek olarak, elde edilen ortalama değerler, bağımsız işlemlere karşılık gelen tahmini parametrelerin boyutunu, korelasyonunu ve görselleştirmek için bir dizi istatistiksel analize tabi tutulmuştur. Yabancı ot kuru ağırlığı ve yoğunluğu tarım/tarım dışı alanlarda dikkate alınan kritik konular olduğundan, bunların diğer parametreler ile ilişkileri ele alınmıştır. Bu bağlamda, çalışmada değişkenlerin ortalama değerleri üzerinde korelasyon katsayısı, ısı haritası kümelemesi, ağ grafiği analizi ve temel bileşen analizi gibi ileri analizler yapılmıştır.

Çalışmamızda çok değişkenli istatistiksel analiz bölümünde de tartışılan yabancı ot kuru ağırlığı - 0.254 ile -0.585 aralıklarında negatif korelasyon katsayıları ile kinoanın agronomik tüm özellikleriyle negatif olarak ilişkilidir. Çalışmada yabancı ot kuru ağırlığı bitki boyu ($r=-0.543$, $p=0.165$), sap kalınlığı ($r=-0.550$, $p=0.158$), dal sayısı ($r=-0.585$, $P=0.128$), sap verimi ($r=-0.489$, $P=0.219$), bin dane ağırlığı ($r=-0.565$, $P=0.145$), kavuzsuz tohum verimi ($r=-0.580$, $P=0.132$), hasat indeksi ($r=-0.254$, $P=0.544$) ve biyolojik verim ($r=-0.552$, $P=0.156$) parametreleri ile negatif korelasyon göstermiştir (Şekil 4, Şekil 5). Fakat bu korelasyon istatistik olarak anlamlı olmamıştır.



Şekil 4. Tahmini parametrelerin korelasyon analizi.

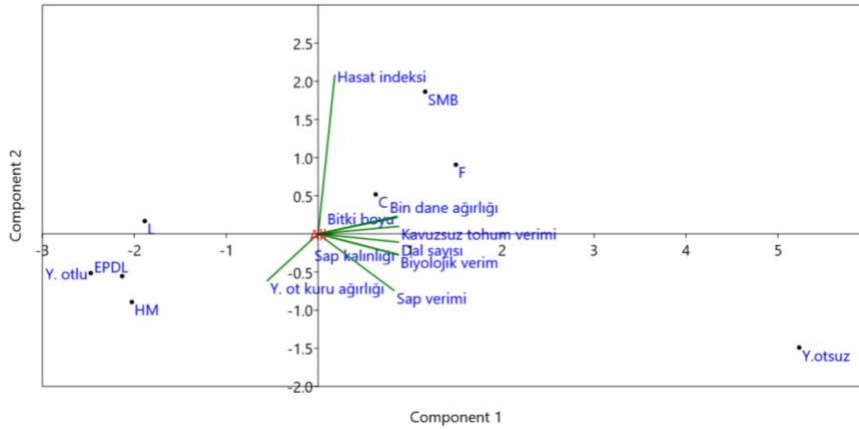
Figure 4. Correlation analysis of estimated parameters.



Şekil 5. Yabancı ot kuru ağırlığının diğer parametrelerle korelasyonları.

Figure 5. Correlations of weed dry weight and other parameters.

Varyasyon oranını açıklamak için, kinoanın agronomik özellikleri ve yabancı ot kuru ağırlığı bir biplot çifti üzerine dağılmıştır (Şekil 8). Buna göre, ilk iki bileşen (PC1:%78.83 ve PC2:%13) orijinal verilerin değişkenliğinin %91.83'ünü açıklamıştır. Bu değerler değişkenlerin taşıdığı bilgiyi temsil etmektedir. Yani değerlendiren tüm parametrelerin iki düzleme indirgenmiş halini belirtmektedir. Bu gerçek bir ihtyactir. Elde Açıklanan bu kadar yüksek bir varyans, temel bileşenler analizinin, uygulamalar ile birlikte tahmin edilen parametrelerin etkisini değerlendirmede başarılı bir şekilde kullanılabileceğini açıkça göstermektedir. İlk bileşen (PC1), EPDL (-2.13 puan ile), L (-2.02 puan ile), HM (-1.88 puan ile) ve yabancı otlu kontrol (-2.13 puan ile) gruplar negatif olarak ilişkili iken, F (1.49 puan ile), C (0.62 puan ile), SMB (1.16 puan ile) ve yabancı otsuz kontrol (5.23 puan ile) ile pozitif ilişkilidir. Ayrıca “yabancı ot kuru ağırlığı” (-2.23 puan ile) negatif ile ilişkili iken, diğer agronomik parametreler pozitif ilişki içerisindedir.



Şekil 8. Parametre ve uygulamaların temel bileşen analizi.

Figure 8. Principal component analysis of parameters and applications.

L: Lenacil, C: Chloridazon, MB: S-metolachlor Benoxacor, HM: Haloxyfop-R-Methyl - Ester, F: Fluazifop -buty, EPDL: Ethofumesate+Phenmedipham+Desmedipham +Lenacil, Y.otlu: Yabancı otlu kontrol, Y. otsuz: Yabancı otsuz kontrol

Çalışmada değişkenlerin ortalama değerleri üzerinde yaptığımız korelasyon analizi, ısı haritası kümelemesi, ana bileşen analizi ve ağ grafiği analizi gibi ileri analizler varyans analizini destekler ve bulguları kümeleyerek analiz için dikkate alınan değişkenlerin boyutunu azaltmada çok güçlü oldukları kabul edilebilir. Genel olarak, uygulamalar ve parametreler arasındaki etkileri ve ilişkileri açıkça belirtilmiştir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Farklı aktif maddeli herbisitlerin kinoada yabancı ot kontrolü ve verimi üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yürüttüğümüz çalışmada, kullanılan herbisitler yabancı ot popülasyonu ve türleri üzerindeki etkileri herbisite ve yabancı ot türüne göre farklılık göstermiştir. Yapılan son değerlendirmede herbisitlerin etki oranları %83.75 ve %16.25 değerleri arasında değişiklik göstermiştir. Yabancı ot kuru ağırlıkları üzerinde yüzde etki oranları ise %85.71 ile %25.05 oranları arasında değişiklik göstermiştir. Çalışmada en yüksek biyolojik verim yabancı otsuz kontrol (çapa) (1005.60 kg/da) parsellerinde elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan Lenacil ve Ethofumasate+ Phenmedipham + Desmedipham +Lenacil herbisitleri kinoaya büyük oranda fitotoksik etki gösterip veriminin büyük oranda düşmesine neden olmuşlardır. Chloridazon ve S-metolachlor+Benoxacor herbisitleri ise kısmen kinoada fitotoksik etkiye neden olmuşlardır. Ayrıca çalışmada kullanılan Haloxyfop-R- Methyl-Ester herbisiti ise yabancı otlara etki oranının düşük olmasından dolayı bu herbisit kullanıldığı parsellerde yabancı ot yoğunluğu ve kuru ağırlığı fazla olmasına ve bu da kinoa veriminin düşmesine sebep olmuştur. Sonuç olarak, kullanılan herbisitler yabancı otlar üzerinde etkili olmalarına rağmen, herbisitlerin bazıları kinoada fitotoksik etki gösterip verimin düşmesine sebep olmuştur. Çalışmada kinoa verimi üzerine en etkili herbisit S-metolachlor+Benoxacor olmuştur. kinoa ekim alanında

uygun herbisit için öncelikle ilgili alanda bulunan yabancı ot türlerine göre ve kinoada fitotoksik etki etmeyen herbisit seçilmesi önerilebilir. Tüm bunları değerlendirdiğimizde kinoada uygun herbisit seçimi kinoaya fitotoksik etki göstermeyen ve ilgili alanda bulunan yabancı otlara etki edecek herbisit seçilmesi önem taşımaktadır. Ayrıca farklı herbisit kombinasyonları ve herbisitler ile farklı mücadele yöntemlerinin entegre kullanılması kinoada yabancı otlar üzerinde etkili olup verimi arttırabilir.

Veri Kullanılabilirliği

Veriler makul talep üzerine sağlanabilmektedir.

Yazar Katkıları

Çalışmanın konsepti ve tasarımı: HK, RG; örnek toplama: HK, RG; verilerin analizi ve yorumlanması: RG, HA; istatistiksel analiz: HA; görselleştirme: HA, RG; makalenin yazımı: HK, RG, HA.

Çıkar Çatışması

Bu çalışmada yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Etik Beyan

Bu araştırma için etik kurula ihtiyaç olmadığını beyan ederiz.

Finansal Destek

Bu çalışma herhangi bir kurum tarafından finansal kurum tarafından desteklenmemiştir.

Makale Açıklaması

Bu makale Dergi Baş Editörü Prof. Dr. Galip KAŞKAVALCI tarafından düzenlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Abbaspoor, M., 2022. Herbicide screening for weed control in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Journal of Plant Production Research, 29 (3): 89-104.
- Abbott, W.S., 1925 A method of computing the effectiveness of an insecticide. Journal of Economic Entomology, 18 (2): 265-267.
- Alptekin, H. & R. Gürbüz, 2022. The effect of organic mulch materials on weed control in cucumber (*Cucumis sativus* L.) Cultivation. Journal of Agriculture, 5 (1): 68-79.
- Alptekin, H., A. Ozkan, R. Gurbuz & M. Kulak, 2023. Management of Weeds in Maize by Sequential or Individual Applications of Pre-and Post-Emergence Herbicides. Agriculture, 13 (2): 421.
- Alptekin, H., R. Gürbüz, A. Özkan & A. Usanmaz Bozhüyük, 2022. Mardin ili yabancı ot sorununun ve kimyasal mücadele durumunun belirlenmesi. Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi 23 (1): 84-93.
- Angeli, V., P. Miguel Silva, D. Crispim Massuela, M. W. Khan, A. Hamar, F. Khajehei, G.H. Simone & C.Piatti, 2020. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): An overview of the potentials of the "Golden Grain" and socio-economic and environmental aspects of its cultivation and marketization. Foods, 9 (2): 216.
- Bhargava, A., S. Shukla & D. Ohri, 2006. *Chenopodium quinoa*-an Indian perspective. Industrial crops and products, 23 (1): 73-87.
- Doğru, A. S. & Y. E. Kitiş, 2023. The weed species in corn fields in Antalya province of Türkiye. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 60 (3): 429-436.
- Eğritaş, Ö., M. Tan & K. Haliloğlu, 2020. Herbisite dayanıklı mutant Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) hatlarında bazı bitkisel özelliklerin belirlenmesi. Journal of the Institute of Science and Technology, 10 (2): 1382-1388.
- FAO, 2023. Food and Agriculture Organization. (Web page: <http://www.fao.org/home/en/>) (Date accessed: August 2023).
- González, J. A., S. S. Eisa, S. A. Hussin & F. E. Prado, 2015. Quinoa: an incan crop to face global changes in agriculture. Quinoa. Improvement and sustainable production, 21 (1): 1-18.

- Günçan, A. & M. Karaca, 2018. Yabancı Otlar ve Mücadele Prensipleri. Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi yayınları, Konya. 243 s.
- Jacobsen, S. E., 2003. The worldwide potential for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food reviews international*, 19 (1): 167-177.
- Jacobsen, S. E., J. L. Christiansen & J. Rasmussen, 2010. Weed harrowing and inter-row hoeing in organic grown quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Outlook on Agriculture*, 39 (3): 223-227.
- Jancurova, M., 2009. Quinoa-a review. *Czech Journal of Food Sciences*, 27 (2): 71-79.
- Kakabouki, I., A. Karkanis, I. S. Travlos, D. Hela, P. Papastylianou, H. Wu, C. Demosthenis, R. Sestrasf & D. Bilalis, 2015. Weed flora and seed yield in quinoa crop (*Chenopodium quinoa* Willd.) as affected by tillage systems and fertilization practices. *International Journal of Pest Management*, 61 (3): 228-234.
- Kırgeç, Y., 2018. Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Ekim Alanlarında Sorun Olan Yabancı Ot Türlerinin ve Bunların Mücadelesinde Kullanılabilecek Herbisitlerin Fitotoksik Etkilerinin Saptanması. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, (Basılmamış) Yüksek Lisans Tezi, Samsun, 61 s.
- Langeroodi, A. R. S., R. Mancinelli & E. Radicetti, 2020. How do intensification practices affect weed management and yield in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) crop?. *Sustainability*, 12 (15): 6103.
- Latorre, F., 2014. Is Quinoa Cultivation on The Coastal Desert of Peru Sustainable? A Case Study From Majes. Faculty of Science and Technology, University Department of Agroecology, (Unpublished) Master's Thesis, Denmark, 86 pp.
- Merino, J., A. Pedreros, S. Fischer & M. D. López, 2020. Effect of post-emergence herbicides on stress indicators in quinoa. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 80 (1): 21-29.
- Navruz-Varli, S. & N. Sanlier, 2016. Nutritional and health benefits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Cereal Science*, 69 (2016): 371-376.
- Nurse, R. E., K. Obeid & E. R. Page, 2016. Optimal planting date, row width, and critical weed-free period for grain amaranth and quinoa grown in Ontario, Canada. *Canadian Journal of Plant Science*, 96 (3): 360-366.
- O'Connell, J., 2015. Quinoa Grains a Foothold in Eastern Idaho. Capital Press, (Web page: <https://www.capitalpress.com/state/idaho/quinoa-gains-a-foothold-in-eastern-idaho>) (Date accessed: August 2023).
- Odum, P., 1971. *Fundamentals of Ecology*. W.B. Saunders Company, 574 pp.
- Olivoto, T., M. Nardino, I. R. Carvalho, D. N. Follmann, V. J. Szarecki, M. Ferrari, A. J. de Pelegrin & V. Q. de Souza, 2017. Plant secondary metabolites and its dynamical systems of induction in response to environmental factors: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 12 (2): 71-84.
- Repo-Carrasco, R., C. Espinoza & S.E. Jacobsen 2003. Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kaniwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food Reviews International*, 19 (1-2): 179-189.
- Santos, R. L. D. B., C. R. Spehar & L. Vivaldi, 2003. Quinoa (*Chenopodium quinoa*) reaction to herbicide residue in a Brazilian Savannah soil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38 (6): 771-776.
- Sevindik, A., R. N. Gültekin & H. Uran 2021. Altın Tahıl: Kinoa. Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 7 (1): 155-165.
- Tan, M. & S. Temel, 2019. Her Yönüyle Kinoa Önemi, Kullanılması ve Yetiştiriciliği. İksad Yayınevi, Ankara. 177 s.
- Tuuis, D., 2020. Impact of Herbicides on Quinoa Yield and Weediness. Institute of Agricultural and Environmental Sciences, Estonian University of Life Sciences, (Unpublished) Doctoral Thesis, Estonian, 34 pp.
- Üstüner, T. & A. Günçan, 2002. Niğde ve yöresi patates tarlalarında sorun olan yabancı otların yoğunluğu ve önemi ile topluluk oluşturmaları üzerine araştırmalar. *Türkiye Herboloji Dergisi*, 5 (2): 30-42.

Araştırma Makalesi (Research Article)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2024, 61 (2):217-232
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1377809>

Büşra ONAY ^{1*} 

Esra BAYAZIT SOLAK ² 

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, 03000, Merkez, Afyonkarahisar, Türkiye

² Siirt Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 56000, Merkez, Siirt, Türkiye

* Sorumlu yazar (Corresponding author):

bonay@aku.edu.tr

Anahtar sözcükler: Afyon, cami bahçesi, kullanıcı memnuniyeti, peyzaj

Keywords: Afyon, mosque garden, user satisfaction, landscape

Manevi güzelliğın yeşil mirası: Cami bahçeleri ve kullanıcı memnuniyeti

The green heritage of spiritual beauty: Mosque gardens and user satisfaction

Alınış (Received): 18.10.2023

Kabul Tarihi (Accepted): 06.05.2024

ÖZ

Amaç: İnsanların ibadet, toplanma, bir araya gelme amacıyla kullandıkları mekanlar olan camiler bahçeleri ile kentsel açık yeşil alan sistemi içerisinde yer edinmiş peyzaj alanları olarak karşımıza çıkmaktadır. Konu ile ilgili literatür tarandığında cami bahçelerinin tasarımı ve kullanıcılar üzerindeki etkisi ile ilgili yapılan çalışmaların oldukça az olduğu görülmektedir. Literatüre katkı sağlamak, cami bahçelerinin kentsel mekan içerisindeki yerini ortaya koymak ve kullanıcı memnuniyetini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

Materyal ve Yöntem: Afyon ilinde seçilen iki cami bahçesi örneğinde, cami bahçelerinin tasarımları incelenmiş ve kullanıcı memnuniyetini ortaya koymak için anket uygulanmıştır. Elde edilen anket verilerinin değerlendirilmesi ve analiz edilmesinde SPSS (Statistical Package for Social Sciences) 28.0 istatistik programı (deneme sürümü) kullanılmıştır.

Araştırma Bulguları: Çalışma alanı olarak seçilen cami bahçeleri kullanıcıları ile yapılan anketler sonucunda insanların her iki camiden de genel olarak memnun oldukları görülmüştür.

Sonuç: Elde edilen sonuçlara göre seçilen cami bahçelerinin tasarım ve kullanımlarından insanların memnun oldukları sonucuna varılmıştır. Sonuç bölümünde bu alanların artırılması ve tasarımı ile ilgili öneriler sunulmuştur.

ABSTRACT

Objective: Mosques, which are places that people use for worship, gathering, and coming together, appear as landscape areas with their gardens within the urban open green space system. When the literature on the subject is scanned, it is seen that there are very few studies on the design of mosque gardens and their impact on users. It was carried out to contribute to the literature, revealing the place of mosque gardens in urban spaces, and determining user satisfaction.

Material and Methods: In the example of two mosque gardens selected in Afyon province, the designs of the mosque gardens were examined and a survey was conducted to reveal user satisfaction. SPSS (Statistical Package for Social Sciences) 28.0 statistical program (trial version) was used to evaluate and analyze the survey data obtained.

Results: As a result of the surveys conducted with the users of the mosque gardens selected as the study area, it was seen that people were generally satisfied with both mosques.

Conclusion: According to the results obtained, it was concluded that people were satisfied with the design and use of the selected mosque gardens. In the conclusion section, suggestions regarding the increase and design of these areas are presented.

GİRİŞ

İçerisinde yaşamlarını sürdürmek isteyen insanların; yönetsel, ekonomik ve siyasi isteklerine cevap veren toprak parçaları olan kentler (Onay, 2023; Onay vd., 2023), bünyesinde var olan nüfusun artmasıyla birlikte farklı ihtiyaçlara göre şekil alan yerleşim yerlerine dönüşmüştür (Sürün, 2019). Kentler insanların ihtiyaçlarına göre yapılaşmış alanlardır ancak herhangi bir yapılaşmanın olmadığı alanları da barındırmaktadır. Yapılaşmanın olmadığı bu alanlar olan kentsel açık-yeşil alanlar, kent içerisindeki tamamen boş ya da gelişmemiş olan alanları kapsayan ve çoğunlukla şehir plancıları tarafından kentin gelişimi için kullanılan alanlar olarak nitelendirilmektedir (Mpofu, 2013).

Açık alan kavramı, kent dokusunun önemli temel bileşenlerinden birisi olan, yapısal unsurlar ve trafik ağları dışında kalan boş alanlar ya da açıklık alanlar olarak tanımlanmaktadır (Önder & Polat, 2012). Başka bir tanımda ise kent içerisinde herhangi bir yapılaşmanın olmadığı ya da mevcut yapıların arasında kalmış olan sokak, meydan, otopark ve pazar alanı gibi boş alanlar şeklinde tanımlanmaktadır (Korgavuş & Ersoy, 2015). Yeşil alan ise bitkisel unsurları içerisinde barındıran, herkesin erişimine açık yönetilen alanlar ile ormanlık alan gibi daha az yönetilen alanlardan oluşan kent unsurları olarak tanımlanmaktadır (Lachowycz & Jones, 2013). Farklı bir tanımda yeşil alan ise; kent sınırları içerisinde insanlar için dinlenme, gezme, oyun amaçlarıyla ayrılmış ve kent yönetimlerince düzenlenen ortak kullanım alanlarını da içerisinde bulunduran alanlar olarak tanımlanmaktadır (Keleş, 1993). Yeşil alanlar ekonomik ve sosyal kazançlar sağlamak, kentlerin fiziksel karakterinin şekillenmesinde görev almak veya hava kirliliğinin azaltılması gibi birçok işlevi yerine getirirler.

İnsanların yoğun olarak tercih ettiği kentsel açık-yeşil alanların psikolojik, estetik, ekonomik, sosyal ve işlevsel açıdan pek çok yararı bulunmaktadır (Gül, 2001, Koç, 2003, Mülâyim, 2022; Onay vd., 2023). Açık-yeşil alanlar ekonomik ve sosyal kazançlar sağlamak, kentlerin fiziksel karakterinin şekillenmesinde görev almak veya hava kirliliğinin azaltılması gibi birçok işlevi yerine getirmektedirler (Ayhan & Atabeyoğlu, 2022). Bu alanların sayısının artırılması bahsi geçen faydaları ve kentin gelişmişliği açısından önem arz etmesinin yanı sıra bu alanların düzenlenmesi, işlevine uygun olarak kullanılması, düzenli bakım ve temizliğinin yapılması da önem arz eden diğer bir konudur.

Kentsel açık yeşil alan denilince ilk akla gelen parkların dışında, ev bahçeleri, okul bahçeleri, kamu bahçeleri, hastane bahçeleri ve cami bahçeleri de birer açık yeşil alan örneği oluşturmaktadır. Bu çalışmada da açık yeşil alana örnek verilebilecek cami bahçeleri incelenmiştir. Afyon ilinde yürütülen çalışmada cami bahçelerinin insanlar tarafından kullanımını ortaya koymak ve örnek olarak seçilen cami bahçelerine ait kullanıcı memnuniyetini ölçmek amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda çalışma alanı olarak seçilen cami bahçelerinde literatür ışığında hazırlanan anket cami kullanıcılarına uygulanmıştır. Anketten elde edilen veriler ise SPSS programı kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre ise cami bahçeleri değerlendirilerek öneriler sunulmuştur.

Cami Bahçelerinin Tasarımı

“Cami” kelimesi, Arapçada “bir araya getirmek” ya da “toplamak” sözcüğünden türemiş olup (Nasution, 2023), Müslümanların ibadet için gittikleri, beraberlik ve birliğin temsili, kişilerin içerisinde huzuru bulduğu ve eğitim alabildiği mekanlardır (Anonymous, 2021). Erken İslami dönemde, Müslüman generaller bir şehri fethettikten veya kurduktan sonra, şehrin merkezi konumunda sosyo-politik kontrol ve dini faaliyetler amacına hizmet eden bir cami kurmuş, bu camilerde medrese, yatakhane, kütüphane, dükkânlar gibi çeşitli tesislere yer vermişlerdir (Asif vd., 2021).

Camiler ibadet yapılan yer olmanın yanı sıra, insan topluluklarının dini, sosyal ve siyasi amaçlarla bir araya gelerek vakit geçirebilecekleri, bir buluşma noktası olarak da kullanılmaktadır (Alnajjar, 2023; Nasution, 2023). Ayrıca siyaset, sosyal etkileşim, bilgi, sanat, ekonomi, felsefe ve ritüel ibadetle insanları birleştiren bir merkezdir (Taib & Rasdi, 2012). İslam tarihinin önemle üzerinde durduğu cami yapıları ve mimari üslubunun yanında, camilerin ya da mescitlerin büyüklüğü, yapılacağı alan, içerisinde ve

çevresinde bulunacak mekanlar ve kullanımlarda her dönem önem arz etmiştir (Anonymous, 2021). Kimi cami yapıldığı alanın büyüklüğüne göre tek bir yapıdan oluşuyorken kimi camilerde, yapı topluluğu olarak da adlandırılan caminin çevresinde medreselerin, kütüphanelerin, çeşmelerin, şadırvanların, aşevlerinin ve hamam gibi yapıların yer aldığı (Nasution, 2023); sosyal, dini, ticari, eğitim ve sağlık birimleri ile merkezi bir nitelik taşıyan külliye adı verilen yapılardan oluşmaktadır (Işıklar Bengi & Topraklı 2019).

Camiler 18. yüzyılın sonuna kadar külliye yapısının bir parçası olarak yapılmıştır. Zamanla külliye yapısından çıkarak tekil yapılar haline gelen camiler içerdikleri bazı fonksiyonları kaybederek sadece ibadet amaçlı kullanılan mekânlar haline dönüşmüştür (Işıklar Bengi & Topraklı 2019; Çorbacı vd., 2022). Camilerin sahip olduğu sosyal ve kamusal yönlerin yeniden kazandırılabilmesi açısından cami yakın çevresinin peyzaj tasarımı ve dolayısı ile bitkisel tasarımı oldukça önemlidir. Bu doğrultuda kullanıcıların ibadet ihtiyaçlarının yanı sıra rekreasyonel ihtiyaçlarının da karşılanacağı mekânlar tasarlanmalıdır. (Çorbacı vd., 2022). Omer (2013)'e göre, caminin dini bir merkez, bir öğrenim yeri, bir refah ve hayır yeri, bir rehabilitasyon merkezi, bir mahkeme, bir konaklama yeri, şifa merkezi, sosyalleşme merkezi ve ekonomik bir merkez olmak üzere işlevleri olduğunu belirtmektedir. Bunların yanında ülkemizdeki kuruluşlar ve hayırsever kişiler tarafından yaptırılan camilerin ve külliyelerin planlanması ve projelendirilmesi sürecinde dikkat edilmesi gereken hususlar bulunmaktadır. Bu hususlar Diyanet İşleri Başkanlığı Tarafından hazırlanan Cami Planlama ve Tasarım Kılavuzunda verilmiştir. Bu kılavuzda yer alan maddelere göre (Anonymous, 2021);

- Camiler planlanırken, toplumun birlik ve beraberliğine katkı sağlamak için bünyesinde rekreasyon alanları, kamusal ve ticari alanlara yer verilmeli,

- Cami yapımı için seçilen alanlar, kent içerisindeki atıl alanlar yerine, kentin odak noktaları olmalıdır.
- Cami planlamasında sürdürülebilirlik ve çevresel koruma temel prensip olmalıdır.

- Camilerin konumları belirlenirken herkesin ulaşabileceği ve yürüme mesafesine uygun şekilde aralıklarla planlanma yapılmalıdır.

- Camiler, kentin dokusuna, tarihine, mimarisine ve planlama yapılan alanın çevresine uygun bir şekilde görsellik ön planda tutularak inşa edilmelidir.

- Camiye yaya olarak, araçla ya da toplu taşıma ile gelen kullanıcıların cami girişine kadar güvenli bir biçimde ulaşımı sağlanmalıdır.

- Cami arazisinin üzerinde mevzuata uygun bir şekilde yeterli sayıda araç park alanı ayrılmalıdır.
- Camiler, gürültü, kötü koku, kentsel atık gibi olumsuz çevresel faktörlerden uzak bir konumda olmalıdır.
- Camilerin yerleri altyapı hizmetlerinden (elektrik, su doğalgaz vb.) faydalanılabilecek şekilde olmalıdır
- Dini yapıların bahçelerinde baz istasyonlarına yer verilememelidir
- Camiler ve bahçeleri doğal afet ya da seferberlik gibi durumlarda toplanma alanına dönüşebilmelidir.
- Cami bahçelerinin, toplu olarak kullanılacağında rahatlık sağlanması ve bazı durumlarda toplanma alanı olarak kullanılabilmesi için alanının %50'si açık-yeşil alan olacak şekilde düzenleme yapılmalıdır.
- Camiler erişilebilirlik ilkeleri göz önünde bulundurularak planlamalı ve tasarlanmalıdır.

Diyanet İşleri Başkanlığı Tarafından hazırlanan Cami Planlama ve Tasarım Kılavuzunda Peyzaj ve Çevre Düzenleme başlığı altında verilen camilerin çevre düzenlemesinde dikkat edilmesi gereken noktalar ise;

- Camiye ibadet için gelen insanların çocuklarını güvenliğinden emin oldukları, cami giriş ve çıkışınca kolaylıkla ulaşabilecekleri, çocuklar için sağlam, güvenli ve sağlıklı malzemedir yapılmış cami bahçesi içerisinde yer alan bir çocuk oyun alanı olmalıdır.

- Cami bahçelerinde yapılan peyzaj düzenlemesi caminin girişini vurgulayacak insanları yönlendirecek ve yaya hareketini engellemeyecek şekilde olmalıdır.

- Caminin yapısal kitesini kapatmayacak şekilde bitkisel tasarım yapılmalıdır.
- Gürültü kontrolü, rüzgar kontrolü ve amacına göre görsel kontrol sağlamak için uygun bitkisel tasarım yapılmalıdır.
- Bitkisel tasarımda kullanılacak bitkilerin seçiminde bitkinin iklimsel, ekolojik, morfolojik ve fiziksel özelliklerinin alana ve kullanım amacına uygun olmasına dikkat edilmelidir.
- Cami bahçelerinde geniş taş veya seramik kaplı alanların su geçirgenlik özelliğinin yüksek olmasına ve dış hava koşullarına uyumlu olmasına dikkat edilmelidir.
- Cami bahçesinde yapılan sert zeminde kaygan olmayan malzeme tercih edilmeli ve sert zemin üzerinde su birikintisini önlemek için eğim % 3'ü geçmeyen eğim verilmelidir.
- Bahçeden kullanılan mobilyalar taşınabilir olmalı ve yaya hareketini engellememelidir. Ayrıca bu mobilyalar bahçedeki diğer kullanımlarla ilişkili şekilde yerleştirilmelidir.

Konu ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde; Aytatlı vd., (2021), Erzincan kent merkezinde yer alan 8 cami bahçesinde kullanılan bitkisel materyal hakkında bilgiler yer almaktadır. Sadana, (2015), tarafından yapılan çalışmada kent parkı olarak kullanılan cami bahçesi ile ilgili kullanıcıların algısını ortaya koymak amaçlanmıştır. Bu kapsamda belirlenen 7 unsur (rahatlık, temizlik, tazelik, serinlik, armoni düzeyi, güzellik, ilginç özellikler) ile ilgili kullanıcılarla yapılan anket sonuçlarına göre parkın camiye ve çevreye katma değer sağlayacak şekilde daha iyi bir tasarıma ihtiyacı olduğunu, daha konforlu, ilgi çekici ve tercih edilir hale getirilmesi ve ayrıca caminin merkezi nokta olarak gücünün güçlendirilmesi için şehir yetkililerinin parkın yapılandırılmasına daha fazla dikkat etmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Işıklar Bengi & Topraklı (2019), Ankara'nın protokol camilerinden Ahmet Hamdi Akseki Cami'yi ele almıştır. Kullanıcılarla yapılan anket ile cami anıt, simge ve işaret değeri, yakın çevresini niteleyen merkez yaratması, toplanma mekânı yaratan kamusal bir yapı olması, camilerin geçmiş ve güncel kullanımları doğrultusunda incelenmiştir. Erdoğan vd. (2021), tarafından tarihi çevre yenileme kapsamında bir tarihi cami bahçesi olarak ele alınan Muratpaşa Cami hakkında literatür araştırması ve arazi gözlemleri gerçekleştirilerek mevcut durum analizi yapılmıştır. Tarihi çevrelerin iyileştirilmesinde yenilenen tarihi yapı çevresini kapsayan bahçe, donatı elemanları, bitkisel materyal açısından değerlendirilerek, bahçenin sürdürülebilirliği ve kullanıcılara yararlılığı konusunda iyileştirmeye yönelik öneriler getirilmiştir. Omar vd. (2018), bu makalede, Perak Eyaleti'nde yeni gelişen küçük bir mahalle olan Mescid-i Sıddık'ta yeşil bir caminin potansiyelinin, sürdürülebilirliğin çevresel, sosyal ve ekonomik üç ana yönüne odaklanarak yaşayan bir bağlantı noktası olma örneği olarak araştırılmasını amaçlamıştır. Çorbacı vd. (2022), çalışma kapsamında Ahmet Erdoğan Cami peyzaj tasarım alanında başarılı ve sürdürülebilir bir bitkisel tasarım gerçekleştirilmesi amaçlamıştır. Bitkisel tasarımda tercih edilen bitki taksonları ve bu taksonların; familyaları, yaşam formları, yaprak durumları ve sayıları paylaşılmış ve bu bitkilerin bitkisel tasarım kapsamında kullanım amaçları irdelenmiş ve değerlendirmeler yapılmıştır. Taflıha (2020), tarafından yapılan çalışmada seçilen iki cami örneğinde Kur'an ve Hadis içeriğine dayalı olarak İslami bahçe tasarımı kriterlerini analiz etmeyi ve formüle etmeyi amaçlamıştır. Kur'an ve Hadislerdeki bahçe tasarım kriterlerine odaklanılarak cami bahçeleri kullanıcı algısı değerlendirmiştir. Literatüre bakıldığında cami bahçeleri İslam bahçe sanatının bir sembolü olarak görülmektedir. Gündelik yaşamın bir yansıması olan bu bahçe sanatı anlayışına göre (Ekinci, 2016) cami bahçelerinin genel olarak dinlenme, tefekkür ve huzur bulma amaçlarıyla tasarlanan, çınar ağaçlarıyla gölge sağlanan, bahçenin merkezinde bir çeşme, kanal ya da havuz ile temsil eden su ögesine ve çevresinde yürüme yollarına yer verilen, çok sayıda oturma biriminin bulunduğu, servi ağaçlarıyla yönlendirme, perdeleme ve vurgu yapılan, doğumu ve cenneti tasvir etmesi nedeniyle meyve ağaçları kullanılan ve hoş kokulu bitkilere yer verilen bazı temel unsurları bulunmaktadır (Ali vd., 2015, Clark, 2017, Erdoğan vd., 2021).

Cami faaliyetlerinin derlenmesine ilişkin bir diğer önemli husus, tüm cinsiyetler ve yaş grupları için samimi ve sıcak bir atmosferin oluşturulmasıdır (Asif vd., 2021). Cami bahçeleri kentsel açık yeşil alan sistemi içerisinde rekreasyonel amaçlar için uygun ortam sağlamada, içerisinde bulunan oyun alanları ile çocukların gelişimine katkı sağlamada, bakımlı olması ve sınırlarının belli olması nedeniyle güveli alanlar oluşturmada, insanları bir arada tutma ve aralarındaki iletişimi güçlendirme konusunda sosyal fayları olan mekanlardır. Ayrıca açık yeşil alan sınıfında yer almasından dolayı bulunduğu yere estetik değer katması önemli işlevlerindedir.

MATERYAL ve YÖNTEM

Bu araştırma, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Bilimsel Araştırma ve Yayın Etik Kurulu tarafından 19.09.2023 tarihli, 209572 sayılı belge numarasıyla onay almıştır.

Materyal

Türkiye'nin önemli bir geçiş bölgesi olan Afyonkarahisar ili Ege bölgesinde yer almaktadır. Çevresinde Konya, Eskişehir, Denizli, Isparta, Kütahya ve Uşak illeri bulunmaktadır (Onay vd., 2022). İlin deniz seviyesinden yüksekliği 1.034 m ve yüzölçümü 14.772 km²' dir. Merkez ilçeyle birlikte toplam 18 ilçeye sahiptir. Merkez nüfusu 2022 yılı verilerine göre 324.996 kişidir. Ekonomik anlamda oldukça gelişme gösteren Afyon'un temel sanayi ürünleri mermer ve gıda üzerinedir. Afyon sanayisi mermer ve traverten taşında dünyanın önde gelen üreticilerindedir (Anonymous, 2022). Tarihi ve sivil yapılar açısından ilin geneline bakıldığında konaklar, camiler, bedestenler hanlar gibi pek çok yapı karşımıza çıkmaktadır. Çoğu tarihsel özelliğe sahip olan bu yapıların yanında kent içerisinde yer alan yeni yapılarda mimarisi ve kullanılan malzemeler açısından dikkat çekmektedir. Bu çalışmada cami bahçelerinin kullanıcılar üzerindeki etkisi ve tercih edilişliği incelenmiştir. Bu kapsamda Afyon ilinde yer alan camiler hakkında araştırma yapılarak yerinde gözlem yapılmıştır. Çalışma yapılacak olan cami seçilirken; *bahçe büyüklüğü, kullanıcı sayısı, konumu, bahçe ve bina ölçeğinde içinde barındırdığı aktiviteler* etkili olmuştur. Bu kriterler göz önüne alındığında Afyon kent merkezi genelinde Paşa Cami ve Külliyesi ile Hacı Mehmet Sayın Cami çalışma alanı olarak seçilmiştir. Bu camilerle ilgili veriler alt başlıklar halinde detaylı anlatılmıştır.

Paşa Cami ve Külliyesi

2018 yılında yapımına başlanma cami 2020 yılında tamamlanmıştır. Hasan Karaağaç Mahallesiinde yer alan cami 30 bin metrekarelik bir alana inşa edilmiş ve aynı anda yaklaşık 2500 kişinin ibadet edebileceği büyüklüğe sahiptir. Selçuklu mimarisine uygun yapılan cami Sedir ağaçlarından oluşan ahşap direkleri, revakları, kesme taş kaplaması ve kurşun çatısı ile dikkat çekmektedir (URL1). Cami bahçesi içerisinde gasilhane, şadırvan, tuvaletler, oturma birimleri, çocuk oyun alanı, otopark, süs havuzu, aydınlatma birimleri ve çöp kutuları yer almaktadır (Şekil 1). Caminin çevresinde ise Afyon Emniyet Müdürlüğü, Özel Park Hayat Hastanesi ve ticari alanlar yer almaktadır.



Şekil 1. Paşa Cami ve Külliyesi'ne ait görseller.

Figure 1. Images of Pasha Mosque and Social Complex.

Hacı Mehmet Sayın Cami

Dörtüol mahallesinde bulunan cami Selçuklu Mimarisine göre tasarlanmıştır. Camide Osmanlı dönemindeki medrese kültürü inşa edilmiş ve caminin arka bölmelerinde Kuran kursları, seminer salonları, konferans salonları da yer almıştır. 4600 metrekarelik kapalı alana sahip olan camii, yaklaşık 3500 kişilik kapasitesiyle Afyonun en büyük cami olma özelliğine sahiptir (URL2). Yaklaşık 22.000 metrekarelik alana inşa edilen cami bahçesinde oturma birimleri, çocuk oyun alanı, otopark, aydınlatma ve çöp kutuları bulunmaktadır (Şekil 2). Çevresinde ise Afyon İl Özel İdare binası ile boş araziler yer almaktadır.



Şekil 2. Hacı Mehmet Sayın Cami'ne ait görseller.

Figure 2. Images of Hacı Mehmet Sayın Mosque.

Yöntem

Çalışma Afyon kent merkezinde seçilen iki adet cami bahçesinin kullanıcıların memnuniyetini ve cami bahçelerinin kentsel açık yeşil alanlar içerisindeki yerini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Üç kısımdan oluşan çalışmanın ilk kısmında cami, cami bahçeleri ve İslam bahçeleri hakkında geniş bir literatür taraması yapılmıştır. İkinci kısımda Afyon kent merkezindeki camiler araştırılmış ve bunlar içerisinden seçim yapılmıştır. Seçim yapılırken camilerin yeni yapılmasına ve diğerlerine göre bahçesinin kapladığı alanın büyük olmasına dikkat edilmiştir. Bu doğrultuda seçilen Paşa Cami ve Külliyesi ile Hacı Mehmet Sayın Cami bahçeleri yerinde gözlem yapılarak fotoğraflandırılmıştır. Üçüncü kısımda ise cami bahçelerinin kalitesi, insanların bahçeyi ne kadar yoğun kullandığı ve memnuniyet hakkında bilgi edinmek için kullanıcılara anket uygulanmıştır. Anket formu 3 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde katılımcı profili ile ilgili bilgiler yer almaktadır. İkinci bölümde sorular hazırlanırken Tafiha (2020) tarafından yapılan çalışmadan yararlanılmıştır. Camiye ulaşılabilirlik, cami bahçesinin kullanımı, tasarımı, temizlik ve bakımı, içerisindeki donatılar ile ilgili sorular bu bölümde yer almaktadır. Üçüncü bölümde ise Işıklar Bengi & Topraklı (2019)'nın çalışmasından elde edilen cami bahçesine dair kullanıcıların hissiyatlarının öğrenildiği soru yer almaktadır. Ankette 1-5 (1: çok kötü, 2: kötü, 3: nötr, 4: iyi, 5: çok iyi) (1: hiç memnun değilim, 2: memnun değilim, 3: orta memnunum, 4: memnunum, 5: çok memnunum) arasında likert ölçeği kullanılarak cami bahçesi kullanıcılarının değerlendirme yapmaları istenmiştir. Likert ölçek ortalamalarının değerlendirilmesinde temel alınan değerler: 1,00 ile 2,33 arası zayıf katılım, 2,34 ile 3,66 arası orta düzeyde katılım ve 3,67 ile 5,00 arası yüksek düzeyde katılım olarak değerlendirilmiştir (Geniş vd., 2020).

Anketler her iki camide de kullanıcılarla bire bir (yüz yüze) anket uygulaması tercih edilmiştir. Çalışma anketinin hedef kitlesi; gönüllülük esasına dayalı olarak rastgele seçilen, çalışmanın amacı hususunda bilgilendirilmiş ve çalışma alanlarındaki bireylerden oluşmaktadır. Örneklem büyüklüğünü Afyonkarahisar kent nüfusu (TÜİK, 2023) baz alınarak %95 güven aralığında hata payı %5 olarak kabul edilerek denek sayısı 73 olarak belirlenmiştir. Çalışmanın örneklem büyüklüğünün belirlenmesinde aşağıdaki Eşitlik (1) kullanılmıştır (Kalıpsız, 1981; Akten, 2003).

$$n = \frac{Z^2 NPQ}{ND^2 + Z^2 PQ} \quad (1)$$

$$n = \frac{1.96^2 \times 747555 \times 0.95 \times 0.05}{747555 \times 0.05^2 + 1.96^2 \times 0.95 \times 0.05}$$

n= Örnek büyüklüğü

Z= Güven katsayısı

P= Ölçmek istediğimiz özelliğin kütlede bulunma ihtimali (çalışmada %95 olarak alınmıştır)

Q= 1-P

N= Ana kütle büyüklüğü (747500)

Bu eşitliğin hesaplanmasında herhangi bir hesaplama hatası olmaması amacıyla C programlama dili kullanılmıştır. C programlama dili ile algoritma C programlama diline aktarılmış ve çalıştırılmıştır, farklı değerler için de test ve kontrol edilmiştir. C programlama dilinde; literatürde örnek büyüklüğünü hesaplamak için kullanılan eşitlik 1'deki denklem çözdürülmüştür (Eşitlik 2).

$$n = ((\text{pow}(Z,2) * N * P * Q) / ((N * \text{pow}(D,2)) + (\text{pow}(Z,2) * P*Q))) \quad (2)$$

Yaptırılan hesaplama sonucunda örnek büyüklüğü 73 olarak bulunmuştur (Şekil 3). Basit tesadüfi örnekleme yönteminin kullanıldığı anket çalışmasının güvenilirliğinin sağlanabilmesi denek sayısı 100 olarak hedeflenmiştir. Anketler 01.08.2023-01.09.2023 tarihleri arasında çalışma alanlarında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen anket verilerinin değerlendirilmesi ve analiz edilmesinde SPSS (Statistical Package for Social Sciences) 28.0 istatistik programı (deneme sürümü) kullanılmıştır.

```
Hesaplama yapmak istiyor musunuz? E: Evet H: Hayir e
Güven katsayisini giriniz (Z): 1.96
Özelligin küttelede bulunma ihtimalini giriniz (P): 0.95
Ana kütle buyuklugunu giriniz (N): 747555
Veri dagilimini tahmin etmek icin standart sapmayi giriniz (D): 0.05
Ornek Buyuklugu (n) = 72.98
Hesaplama yapmak istiyor musunuz? E: Evet H: Hayir
```

Şekil 3. C programlama dili ile yapılan örneklem büyüklüğünün hesaplanmasına ilişkin ekran görüntüsü.

Figure 3. Screenshot of calculating the sample size using the C programming language.

Çalışmada anketin güvenilirlik analizi için Cronbach Alpha (α) katsayısı kullanılmıştır. Güvenirlilik analizi, bir ölçek türüne göre hazırlanan anket ifadelerinin tutarlılığını ölçmek için kullanılan bir analiz yöntemidir (Karagöz, 2017). Bu analizde, ölçeğe uygun olarak sıralanabilen anket ifadelerinin tutarlılığı ölçülür. Cronbach Alfa, özellikle bir ankette birden fazla Likert ölçeği sorusu bulunduğunda ve bu ölçeğin güvenilirliğini değerlendirmek istediğinizde sıkça kullanılan bir iç tutarlılık "güvenilirlik" ölçüsüdür. Bir anket ölçeğinin güvenilir kabul edilmesi için genellikle Cronbach Alpha (α) değerinin en az 0,70 olması gerektiği kabul edilir (Gürbüz & Şahin, 2016).

ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Uygulamanın yapıldığı Paşa Cami ve Külliyesi ile Hacı Mehmet Sayın Cami bahçelerinin memnuniyeti ölçümü anketinin güvenilirlik testi sonucu α değeri 0,799 olarak bulunmuştur. Cronbach Alpha testinde kabul edilir düzeyde güvenilirlik anlamına gelmektedir. Çalışmada yapılan anketin iç tutarlılığının belirtilen standartlarda olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Paşa Cami ve Külliyesi ve Hacı Mehmet Sayın Cami Cronbach's Alpha değeri

Table 1. Pasha Mosque and Social Complex and Hacı Mehmet Sayın Mosque Cronbach's Alpha value

Cronbach's Alpha	Değişken Sayısı
0,799	22

Paşa Cami ve Külliyesi

Anket çalışmasının birinci bölümünde katılımcı profiline ait elde edilen veriler neticesinde katılımcıların (N=50) %72 oranı erkek, %26'sı 60-70 yaş aralığındadır. Katılımcıların %40'nın yaşadığı mahalle Hasan Karaağaç Mahallesi olurken, %86'sı kent içerisinde gelen bireylerdir. Paşa camii ve külliyesine Konya, Eskişehir ve Afyonkarahisar'dan gelen katılımcılarında olduğu saptanmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Paşa Cami ve Külliyesi katılımcılarına ilişkin genel bilgilerin frekans ve yüzde (%) dağılımları (N=50)

Table 2. Frequency and percentage (%) distributions of general information about Pasha Mosque and Social Complex participants (N=50)

	Frekans (N=50)	Yüzde %
Cinsiyet		
Kadın	14	28
Erkek	36	72
Yaş		
19 ve altı	2	4
20-30	4	8
30-40	7	14
40-50	11	22
50-60	10	20
60-70	13	26
70 ve üstü	3	6
Yaşadığı mahalle		
Cumhuriyet	5	10
Dört Yol	2	4
Eşref Paşa	4	8
Harbiş	2	4
Hasan Karaağaç	20	40
Kocatepe	5	10
Selçuklu	10	20
Tepebaşı	2	4
Yaşadığı şehir		
Afyonkarahisar	45	90
Eskişehir	2	4
Konya	3	6

Cami bahçeleri üzerine kullanıcı memnuniyeti araştırıldığı anket çalışmasının ikinci bölümünde likert ölçek verileri Tablo 3'te yer verilmiştir. Katılımcılar, cami ve bahçesini ulaşılabilirlik açısından yüksek düzeyde (\bar{x} 4,28-4,46) memnuniyet göstermiştir. Katılımcıların %46'sı cami ve bahçesinin kolay konumda, %44'ü kolay

girişte ve %51'i engelliye uygun olduğunu belirtmiştir. Katılımcılar, cami ve bahçesinin donatı elemanları yönünden yüksek düzeyde (\bar{x} 3,74-4,38) memnuniyet göstermiştir. Bu bölümde en az memnuniyet katılımcıların %80'si ile çöp kutuları olurken, katılımcıların %52 oranı ile bitki çeşitliliği ve düzenlemesi en fazla memnuniyet oranı almıştır. Katılımcılar, cami ve bahçesinin yönetim yönünden yüksek düzeyde (\bar{x} 4,10-4,66) memnuniyet göstermiştir. Katılımcıların %70'i caminin temizliğinden, %38,8'si organizasyondan, %67,3'ü ise caminin bakımından memnun oldukları saptanmıştır. Katılımcılar, cami ve bahçesinin kullanım alanları yönünden yüksek düzeyde (\bar{x} 3,82-4,62) memnuniyet göstermiştir. Buna göre, katılımcıların %66'sı otopark alanından, %46'sı toplanma alanından ve %52'si çocuk oyun alanından memnun olduklarını belirtmiştir. Oturma alanı değerlendirilmesinde katılımcıların %38'si orta düzeyde memnuniyet gösterirken %36'sı yüksek düzeyde memnuniyet göstermiştir. Katılımcılar, cami ve bahçesinin çevresel etkiler açısından düşük düzeyde (\bar{x} 1,40-1,70) memnuniyet göstermiştir. Buna göre, katılımcıların %54'ü gürültüden, %62'si kötü görüntüden ve %66'ı kokudan memnun olmadıklarını belirtmişlerdir (Çizelge 3). Katılımcıların Paşa Cami ve Külliyesine ulaşılabilirlik, donatı elemanları, yönetim işleri ve kullanım alanları yönünden memnun oldukları ancak çevresel etkiler yönünden memnun olmadıkları saptanmıştır. Cami bahçesinin çevresel etkilerinin düşük düzeyde olmasının nedenleri arasında caminin konum olarak iki tarafında da yoğun trafiğe sahip yolların bulunması alanda trafik gürültüsüne neden olmaktadır.

Çizelge 3. Katılımcıların Paşa Cami ve Külliyesinin bahçesine ilişkin görüşleri

Table 3. Participants' opinions about the garden of Pasha Mosque and Social Complex

Değişken	N (katılımcı sayısı)	Ortalama	Standart Sapma
Cami ve bahçesini ulaşılabilirlik açısından değerlendirilmesi			
Kolay konum	50	4,36	0,66
Kolay Giriş	50	4,28	0,73
Engelliye uygunluk	50	4,46	0,57
Cami bahçesinin donatı elemanları yönünden değerlendirilmesi			
Bitki çeşitliliği ve düzenlemesi	50	4,38	0,72
Su elemanı	50	4,04	0,81
Oturma Birimleri	50	3,80	0,88
Aydınlatma	50	3,88	0,82
Çöp Kutuları	50	3,74	0,77
Cami bahçesinin yönetim yönünden değerlendirilmesi			
Temizlik	50	4,66	0,55
Organizasyon	50	4,10	0,84
Bakım	50	4,65	0,52
Cami bahçesinin donatı alanları yönünden değerlendirilmesi			
Oturma alanı	50	3,82	1,02
Otopark	50	4,62	0,56
Toplanma alanı	50	4,30	0,73
Çocuk oyun alanı	50	4,38	0,78
Cami bahçesinin çevresel etkiler açısından değerlendirilmesi			
Gürültü	50	1,70	0,90
Kötü görüntü	50	1,50	0,86
Koku	50	1,40	0,63

Cami bahçeleri üzerine kullanıcıların hissiyatlarının araştırıldığı anket çalışmasının üçüncü bölümünde likert ölçek verileri Tablo 4'te yer verilmiştir. Bulgulara göre katılımcıların cami bahçesine dair hissiyatları yüksek düzeyde (\bar{x} 3,96-4,62) memnuniyet göstermiştir. Katılımcıların %54'ü cami bahçesini etkileyici bulurken, %64'ü huzur verici olarak değerlendirmiştir. Cami bahçesini konforlu olarak değerlendiren

katılımcıların %34'i çok memnunken, %38'nin orta memnun olduğu saptanmıştır. Bu bölümdeki en düşük ortalama (\bar{x} 3,96) değeri de konforlu parametresi olduğu görülmektedir. Katılımcıların %70'i cami bahçesini güvenli olarak değerlendirdiği, %56'sının ise estetik olarak değerlendirdiği görülmektedir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Katılımcıların Paşa Cami ve Külliyesinin bahçesine ilişkin hissiyatları

Table 4. Participants' feelings about the garden of Pasha Mosque and Social Complex

Değişken	N (katılımcı sayısı)	Ortalama	Standart Sapma
Katılımcıların cami bahçesine dair hissiyatlarının değerlendirilmesi			
Etkileyici	50	4,48	0,61
Konforlu	50	3,96	0,85
Huzur verici	50	4,62	0,53
Güvenli	50	4,60	0,67
Estetik	50	4,48	0,64

Hacı Mehmet Sayın Cami

Anket çalışmasının birinci bölümünde katılımcı profiline ait elde edilen veriler neticesinde katılımcıların (N=52) %94,2 oranı erkek, %23,1'si 50-60 yaş aralığındadır. Katılımcıların %90,5'nin yaşadığı mahalle Dört Yol Mahallesi olurken, tüm katılımcıların Afyon kentinde yaşadıkları belirlenmiştir (Çizelge 5).

Çizelge 5. Hacı Mehmet Sayın Cami katılımcılarına ilişkin genel bilgilerin frekans ve yüzde (%) dağılımları (N=52)

Table 5. Frequency and percentage (%) distributions of general information about Hacı Mehmet Sayın Mosque participants (N=52)

	Frekans (N=52)	Yüzde %
Cinsiyet		
Kadın	3	5,8
Erkek	49	94,2
Yaş		
19 ve altı	3	5,8
20-30	4	7,7
30-40	5	9,6
40-50	11	21,2
50-60	12	23,1
60-70	10	19,2
70 ve üstü	7	13,5
Yaşadığı mahalle		
Dört Yol	47	90,5
Eşref Paşa	1	1,9
Kocatepe	2	3,8
Selçuklu	1	1,9
Erenler	1	1,9
Yaşadığı şehir		
Afyon	52	100

Cami bahçeleri üzerine kullanıcı memnuniyetinin araştırıldığı anket çalışmasının ikinci bölümünde likert ölçek verileri Tablo 6'da yer verilmiştir. Katılımcılar, cami ve bahçesini ulaşılabilirlik açısından orta ve yüksek düzeyde (\bar{x} 2,98-4,55) memnuniyet göstermiştir. Katılımcıların %46,2'si cami ve bahçesinin kolay konumda, %59,6'sı kolay girişte ve %55,8'i engelliye uygun olduğunu belirtmiştir. Katılımcılar, cami ve bahçesinin donatı elemanları yönünden orta ve yüksek düzeyde (\bar{x} 3,52-4) memnuniyet göstermiştir. Bu bölümde en az memnuniyet katılımcıların %86,2'si ile çöp kutuları olurken, katılımcıların %68,6 oranı ile oturma birimleri parametresinden en fazla memnuniyet oranı almıştır. Hacı Mehmet Sayın Cami bahçesinde

su elemanı olmadığı için değerlendirmeye alınmamıştır. Katılımcılar, cami ve bahçesinin yönetim yönünden zayıf ve orta düzeyde (\bar{x} 1,67-3,17) memnuniyet göstermiştir. Katılımcıların %50'si caminin temizliğinden, %73,1'i organizasyondan orta düzeyde memnun kaldıkları belirlenmiştir. Bakım parametresine bakıldığında ise katılımcıların %40,4'ü hiç memnun kalmadığını, %51,9'unun ise memnun kalmadıkları saptanmıştır. Yönetim yönünden katılımcıların memnuniyet oranları özellikle bakım için zayıf kaldığı belirlenmiştir. Katılımcılar, cami ve bahçesinin kullanım alanları yönünden yüksek düzeyde (\bar{x} 4,07-4,84) memnuniyet göstermiştir. Buna göre; katılımcıların %76,9'sı oturma alanından, %57,7'si otopark alanından, %40,4'ü toplanma alanından, %84,6'sı çocuk oyun alanından memnun olduklarını belirtmiştir. Katılımcılar, cami ve bahçesinin çevresel etkiler açısından zayıf ve orta düzeyde (\bar{x} 1,32-3,46) memnuniyet göstermiştir. Buna göre, katılımcıların %69,2'si gürültüden, %67,3'ü kokudan memnun olmadıklarını belirtmişlerdir. Katılımcıların %50'si kötü görüntüden orta düzey memnuniyet gösterdikleri saptanmıştır (Çizelge 6). Katılımcıların Hacı Mehmet Sayın Cami bahçesine ulaşılabilirlik yönünden kolay giriş ve engelliye uygunluk parametrelerinden memnun oldukları, donatı elemanları olarak oturma birimlerinden ve kullanım alanlarından memnun oldukları belirlenmiştir. Çevresel etkiler ve yönetim yönünden zayıf ve orta düzeyde bir memnuniyet olduğu gözlenmiştir. Cami bahçesinde yer alan yeşil alanlara bakım yapılmadığı için kullanıcılar yönetim açısından memnun olmadıklarını belirtmişlerdir. Ayrıca cami çevresinde yapılaşma olmaması ve boş bakımsız arazilerin yer alması kötü görüntüye sebep olmaktadır.

Çizelge 6. Katılımcıların Hacı Mehmet Sayın Cami bahçesine ilişkin görüşleri

Table 6. Participants' opinions about the garden of Hacı Mehmet Sayın Mosque

Değişken	N (katılımcı sayısı)	Ortalama	Standart Sapma
Cami ve bahçesini ulaşılabilirlik açısından değerlendirilmesi			
Kolay konum	52	2,98	0,91
Kolay Giriş	52	4,01	0,72
Engelliye uygunluk	52	4,55	0,50
Cami bahçesinin donatı elemanları yönünden değerlendirilmesi			
Bitki çeşitliliği ve düzenlemesi	52	3,88	0,64
Oturma Birimleri	52	4,00	0,56
Aydınlatma	52	3,58	0,69
Çöp Kutuları	52	3,52	0,73
Cami bahçesinin yönetim yönünden değerlendirilmesi			
Temizlik	52	3,17	0,81
Organizasyon	52	3,05	0,66
Bakım	52	1,67	0,61
Cami bahçesinin donatım alanları yönünden değerlendirilmesi			
Oturma alanı	52	4,07	0,47
Otopark	52	4,57	0,49
Toplanma alanı	52	4,11	0,80
Çocuk oyun alanı	52	4,84	0,36
Cami bahçesinin çevresel etkiler açısından değerlendirilmesi			
Gürültü	52	1,92	0,55
Kötü görüntü	52	3,46	0,77
Koku	52	1,32	0,47

Cami bahçeleri üzerine kullanıcıların hissiyatlarının araştırıldığı anket çalışmasının üçüncü bölümünde likert ölçek verileri Çizelge 7'de yer verilmiştir. Bulgulara göre katılımcıların cami bahçesine dair hissiyatları zayıf ve orta düzeyde (\bar{x} 2,41-3,80) memnuniyet göstermiştir. Katılımcıların %61,5'i cami bahçesini etkileyici bulurken, %71,2'si konforlu parametresini orta düzey olarak değerlendirmiştir. Cami bahçesini huzur verici parametresini değerlendiren katılımcıların %48,1'i orta düzey, estetik parametresini

değerlendiren katılımcıların %53,8'i yüksek düzeyde olduğu saptanmıştır. Katılımcıların %64,7'si güvenli parametresinin memnuniyet düzeyi orta olarak değerlendirdiği görülmektedir (Çizelge 7). Kullanıcılar caminin konum olarak çevresinde yerleşim alanlarının olmaması ve boş arazi ile çevrili olması sebebiyle cami çevresini güvenlik açısından uygun bulmadıklarını belirtmişlerdir.

Çizelge 7. Katılımcıların Hacı Mehmet Sayın Cami bahçesine ilişkin hissiyatları

Table 7. Participants' feelings about the Hacı Mehmet Sayın Mosque garden

Değişken	N (katılımcı sayısı)	Ortalama	Standart Sapma
Katılımcıların cami bahçesine dair hissiyatlarının değerlendirilmesi			
Etkileyici	52	3,69	0,54
Konforlu	52	3,25	0,68
Huzur verici	52	3,53	0,64
Güvenli	52	2,41	0,72
Estetik	52	3,80	0,65

Çalışma alanı olarak seçilen cami bahçeleri kullanıcıları ile yapılan anketler sonucunda insanların her iki camiden de genel olarak memnun oldukları görülmüştür. Camilerin bahçelerinin yeşil alan yönünden zengin olması çocuk oyun alanına, oturma alanlarına, otoparka yer verilmesi cami ve bahçe kullanımını artıran unsurlar arasındadır. Bunların yanı sıra iki cami karşılaştırıldığında Paşa Cami ve Külliyesinin konum olarak Hacı Mehmet Sayın Cami'sine göre daha merkezi olması ve bahçesinin genişliği, bakımlı oluşu, su ögesinin kullanılması, caminin bulunduğu mahalle ve Afyon ili dışında ziyaretçi alması hem tanınırlığını artırmakta hem de kente kimlik kazandırma yolunda ilerlemesine katkı sağlamaktadır. Kullanıcıların cami bahçelerine dair "etkileyici, konforlu, huzur verici, güvenli, estetik" hissiyatların genel olarak yüksek çıkması yeşil alanların ve peyzaj yapılarının gerekliliğini ve önemini ortaya koymaktadır.

Çalışma alanı olarak seçilen cami bahçeleri bitkisel tasarım açısından değerlendirildiğinde; geniş yeşil alanlar ayrıldığı görülen Paşa Cami ve Külliyesi bahçesinde bu alanlara düzenli bakımın yapıldığı (çimlerin biçildiği, bitkilerin budandığı vs.), tasarım olarak farklı bitki form ve dokularının kullanıldığı, bitki seçimi yapılırken renk uyumuna dikkat edildiği, tasarımda farklı bitki türlerinin (Kartopu, Gül, Lavanta, Mazı, Taflan, Dağ muşmulası, Çam, Huş, Sedir, Akçaağaç, Çınar, Ladin,) yer aldığı tespit edilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Paşa Cami ve Külliyesi'ne ait bitkisel tasarım görselleri.

Figure 4. Planting Design images of Pasha Mosque and Social Complex.

Hacı Mehmet Sayın Cami bitkisel tasarım açısından incelendiğinde yeşil alan olarak ayrılan alanların yeterli olduğu ancak bu alanlarda düzenli bakım yapılmadığı görülmüştür. Çim alanların kendi haline bırakılması üzerinde bakım çalışmalarının olmaması kötü bir görüntü oluşturmaktadır. Bitki türleri bakımdan incelendiğinde ise farklı türler (sedir, mazi, huş, ladin, kırmızı yapraklı akçaağaç, çınar, at kestanesi) tercih edilmesine rağmen tasarım yaklaşımına uygun bir düzen ve uyum içerisinde olmadıkları için bitkisel tasarım açısından etkileyici bir görüntüsü bulunmamaktadır (Şekil 5).

Camiler kentsel mekan içerisinde bir kullanıma sahip olduğu için camilerin bahçeleriyle birlikte tasarlanması ve insanların kullanımına sunulması kente yeşil alan ve bir anlamda rekreasyon alanı kazandırma açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmada cami seçimi yapılırken bahçe büyüklüğünün önemli bir kriter olması, cami bahçelerinin kullanımının ortaya çıkartılması açısından dikkat edilmesi gereken bir unsurdur. Bu çalışma ile cami bahçelerinin farklı amaçlarla kullanıldığı ve insanların bu alanlardan memnun olduğu görülmüştür. Literatüre bakıldığında cami bahçelerini inceleyen çalışmaların sayısının oldukça az olduğu tespit edilmiştir. Bu konuda daha fazla çalışma yapılmasına teşvik etmek ve bu çalışmanın literatüre sağlayacağı katkı oldukça önem arz etmektedir.



Şekil 5. Hacı Mehmet Sayın Cami'ne ait bitkisel tasarım görselleri.

Figure 5. Planting Design images of Hacı Mehmet Sayın Mosque.

Camiler maneviyatı yüksek mekanlar olduğu için buraya gelen insanların hem cami içinde hem de bahçesinde huzur bulması, dinlenmesi vs. açısından bahçelere yapılan tasarımlar, kullanılan bitkiler, peyzaj yapıları oldukça önemlidir. Ayrıca ülkemizin yaşadığı son depremde görüldüğü üzere deprem anında ve sonrasında insanların toplanma ve barınma gibi amaçlarla kullanılabileceği en önemlisi de vakit kaybetmeden organize olabilecek alanlara ihtiyaç vardır. Afyon ilindeki bu iki cami bahçesi hem toplanma amacıyla kullanılabilecek geniş yüzeylere hem de barınma, yeme-içme, çocuklar için psikolojik olarak onları rahatlatabilecek oyun alanına ve WC gibi temel ihtiyaçların karşılanabileceği alanlara sahiptir. Camiler sahip oldukları bu özelliklerden dolayı önemli bir mekan niteliğindedir.

Kullanıcıların cami bahçelerinden olan memnuniyetleri göz önüne alındığında mevcut camilerin bahçelerinin incelenmesi uygun büyüklükteki camilerde yeşil alan, oturma alanı mümkünse çocuk oyun alanı gibi kullanımlara yer verilmesi açısından yeniden düzenlenmesi, yeni yapılacak olan camilerin ise planlamadan başlayarak konumlarının herkesin ulaşabileceği, odak noktası niteliğinde olan bir yerde yapılması ve bahçe için yeterli büyüklüğün ayrılması, tasarım aşamasında ise bahsi geçen kullanımlara yer verecek işlevsel, ekonomik, ekolojik peyzaj tasarımlarının yapılması gerekmektedir.

Cami bahçelerinden; mahremiyet sağlamada, gürültüyü azaltmada, gölge alanlar oluşturmada, estetik değer sağlamada bitkisel tasarımdan en üst düzeyde yararlanılabilir. Bu yüzden cami bahçelerine dikilecek olan bitkilerin yerlerine türlerine, formlarına, özelliklerine, birbirleriyle ve çevreleriyle olan uyuma dikkat edilmelidir. Her iki cami bahçesi örneğinde kullanılan bitkisel tasarıma bakıldığında bu tasarımların önemi ortaya çıkmıştır.

İnsanların doğaya zarar vermeleri ve doğayı bilinçsizce kullanmalarının bir sonucu olarak ortaya çıkan doğal afetler yaşamın bir gerçeği haline gelmiştir. Bu afetleri önlemek, önlenemiyorsa afet anında ya da sonrasında insanların toplanacağı barınacağı ihtiyaçlarını karşılayabileceği alanlar oluşturmak gerekmektedir. Bu sebeple cami bahçelerinde kullanılan donatıların deprem vb. afetler sonrasında kullanılabilir nitelikte olması için, çadıra dönüşebilen banklar ya da pergolalar, depolama olarak kullanılan banklar, pişirme ünitesine dönüşen oturma birimleri şeklinde olmasına dikkat edilmelidir. Bu şekilde tasarlanan alanlarda hızlı bir şekilde organize olunacağı unutulmamalıdır.

Sonuç olarak cami bahçeleri çeşitli ihtiyaçlara cevap verebilen nitelikte olduğu için kent için önemli mekanlardır. Bu mekanların her yaş grubuna hitap etmesi, cinsiyet ayrımı olmadan kullanılabilmesi ve erişilebilir olması için cami bahçeleri tasarım ilkelerine göre planlanması ve tasarlanması gerekmektedir. Bu ilkelere ek olarak yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlar doğrultusunda; cami bahçelerinin bitkisel tasarımına ve bahçenin bakımına verilen önem bu alanı daha güvenli kılmakta ve insanların kullanımını artırmaktadır. Ayrıca bahçe içerisinde çocuk oyun alanına ve oturma birimlerine yer verilmesi her yaşta bireyin buraya gelmesine ve cami ve bahçesini kullanmasına vesile olmaktadır. Tüm bu sebeplerden dolayı yerleşim alanlarında inşa edilen camiler bahçeleriyle birlikte düşünülmeli ve yapılacağı yerin konumu, orada yaşayan insanların kültürü, ihtiyaçları ve sosyal yapısı iyi etüt edilerek bahçesinde yer alacak kullanımlar şekillendirilmelidir. Bu konuda ilgili kamu kurumları, belediyeler ve üniversitelere büyük görev düşmektedir. Cami ve bahçesinin yapımında iş birliği içerisinde olunmalı gerekli destekler sağlanmalı ve maneviyatı güçlü olan bu alanların hem çevre hem de insanın fiziksel ve ruhsal sağlığı açısından kullanıma açılması için çalışmalar yapılmalıdır. Son olarak cami bahçeleri konusunda yapılan çalışmaların az olması bu konuya verilen önemi artırmalı ve literatüre katkı sağlamak amacıyla cami bahçeleri çeşitli yönleriyle incelenmeli ve yazılı çalışmalarla desteklenmelidir.

Veri Kullanılabilirliği

Veriler makul talep üzerine sağlanabilmektedir.

Yazar Katkıları

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

Çıkar Çatışması

Bu çalışmada yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Etik Beyan

Bu araştırma, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Bilimsel Araştırma ve Yayın Etik Kurulu tarafından 19.09.2023 tarihli, 209572 sayılı belge numarasıyla onay almıştır.

Finansal Destek

Finansal olarak desteklenmemiştir.

Makale Açıklaması

Bu makale Konu Editörü Doç. Dr. İpek ALTUĞ TURAN tarafından düzenlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Akten, M., 2003. Isparta ilindeki bazı rekreasyon alanlarının mevcut potansiyellerinin belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 4 (2): 115-132. ISSN: 1302-7085.
- Ali, A., N. Utaberta, M. Surat & M. Qays Oleiwi, 2015. Green architecture and islamic architecture: the islamic arabic city and the traditional islamic house. Applied Mechanics and Materials, 747: 24-27. doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.747.24
- Alnajjar, A., 2023. Erken İslam Mimarisinden Günümüze Cami Mimarisindeki Değişimler: Biçim, İşlev ve Süsleme Yaklaşımları İçin Bir Haritalandırma Çalışması. Haliç Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, (Basılmamış) Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 74 s.
- Anonymous, 2021. Cami Planlama ve Tasarım Kılavuzu. Diyanet İşleri Başkanlığı, Ankara, 55.
- Anonymous, 2022. Afyonkarahisar İli 2021 yılı Çevre Durum Raporu. Afyonkarahisar Valiliği Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü, Ankara, 80s.
- Asif, N., N., Utaberta, S. Ismail & M.I. Shaharil, 2021. The Study on the Functional Aspects of Mosque Institution. Journal of Islamic Architecture, 6 (4): 229-236. DOI http://dx.doi.org/10.18860/jia.v6i4.11749
- Ayhan, A. & Ö. Atabeyoğlu, 2022. Giresun kenti parklarının peyzaj tasarım kriterleri açısından incelenmesi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 59 (2): 283-295. DOI: 10.20289/zfdergi.893979.
- Aytatlı, B., A.C. Kuzulugil & N. Demircioğlu Yıldız, 2021. Kutsal Mekanlarda Bitki Kullanımı: Erzincan Kent Merkezi Camileri Örneği, 55-69". İn: İç Mekan, Çevre ve Bitkisel Tasarımda Güncel Araştırmalar I (Ed. M. Geçimli & A. Aysu). Artikel Akademi, Erzurum, 69s.
- Clark, E., 2017. İslam Medeniyetinde Bahçe Sanatı. İnkilap Yayınları, 228 s.
- Çorbacı, Ö.L., T. Öztürk & E. Erken, 2022. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Ahmet Erdoğan Cami peyzaj projesinin bitkisel tasarım açısından değerlendirilmesi. Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 23 (2): 63-78. https://doi.org/10.17474/artvinofd.1138442
- Ekinci, A., 2016. İslam Medeniyetinde Bahçe Kültürü ve Peyzaj. Şehir ve İrfan 3, 75 s.
- Erdoğan, R., E. Oktay & C. Selim, 2021. Tarihi çevre yenileme çalışmalarının peyzaj mimarlığı açısından değerlendirilmesi: Muratpaşa Cami örneği. Journal of Architectural Sciences and Applications, 6 (1): 195-205. Doi: 10.30785/mbud.886207
- Geniş, B., N. Gürhan, M. Koç, Ç. Geniş, B. Şirin, O.C. Çırakoğlu & B. Coşar, 2020. Development of perception and attitude scales related with covid-19 pandemia. Pearson Journal of Social Sciences & Humanities 5 (7): 306-326. Doi:10.46872/pj.127.
- Gül, A., 2001. Orman Peyzajı ve Rekreasyon Ders Notları. S.D.Ü. Orman Fakültesi. Isparta, 72s.
- Gürbüz, S. & F. Şahin, 2016. Sosyal Bilimlerde Araştırma Yöntemleri. (3.Baskı), Seçkin Yayıncılık, Ankara, 215s.
- Işıklar Bengi, S. & A.Y. Topraklı, 2020. Kullanıcı beklentilerinin modern bir cami örneği üzerinden incelenmesi. Mimarlık ve Yaşam Dergisi, 5 (1): 41-55. https://doi.org/10.26835/my.648396.https://doi.org/10.17474/artvinofd.1138442
- Kalıpsız, A., 1981. İstatistik Yöntemler. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, Yayın No: 2837, O.F. Yayın No:294, İstanbul, 102s.
- Keleş, R., 1993. Kentleşme Politikası, 2. Baskı, İmge Yayınevi, Ankara, 752s.
- Koç, H., 2003. Daha Yaşanabilir Yerleşmeler Arayışında Kentsel Tarım. TMMOB Şehir Plancıları Odası Yayını 2003/1, Ankara, 40s.
- Korgavuş, B. & M. Ersoy, 2015. "Kadıköy ilçesi kentsel açık ve yeşil alanlarının olası İstanbul depreminde yeterliliğinin irdelenmesi, 398-408". Uluslararası Burdur Deprem ve Çevre Sempozyumu, Burdur.
- Lachowycz, K. & A.P. Jones, 2013. Towards a better understanding of the relationship between greenspace and health: Development of a theoretical framework. Landscape and Urban Planning, 118: 62-69. doi: 10.1016/j.landurbplan.2012.10.012.
- Mpofu, T. P. Z., 2013. Environmental challenges of urbanization: A case study for open green space management. Research Journal of Agricultural and Environmental Management, 2 (4): 105-110.
- Mülayim, R., 2022. Deprem Sonrası Geçici Barınmada Dönüştürülebilir Parkların Kullanılması. Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (Basılmamış) Yüksek Lisans Tezi, Çankırı, 94 s.


- Nasution, I.W., 2023. İbadet Mekanı Tasarımında Kültürel Farklılıklar-Türkiye ve Endonezya'da Camilerin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. Kocaeli Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, (Basılmamış) Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, 238 s.
- Omar, S.S., N.H. Ilias, M.Z. Teh & R. Borhan, 2018. Green mosque: A living Nexus. Environment Behaviour Proceedings Journal, 3(7) : 53-63. DOI: <https://doi.org/10.21834/e-bpj.v3i7.1281>
- Omer, S., 2013. The Form of the Prophet's Mosque. IVIEWS, <https://www.islamicity.org/7942/the-form-of-the-prophets-mosque/#:~:text=Thus%2C%20during%20the%20Prophet's%20time,lamps%20as%20a%20means%20for>
- Onay, B., 2023. "İmgelerde Bilişsel Haritalar, 125-133". In: Mimarlık ve Peyzaj Mimarlığı (Ed. G. SANDAL ERZURUMLU), Platanus Yayıncılık, İstanbul, 133 s.
- Onay, B., C. Kuş Şahin & B. Sava, 2023. "Kentsel açık-yeşil alanların dönüşümlü kullanımı: deprem parkları, 389-400". Academy 1st International Conference on Earthquake Studies May 21, 2023 İstanbul, 551 s.
- Onay, B., C. Kuş Şahin, B. Sava & E. Bayazıt Solak, 2022. Parklarda erişilebilirlik: Afyonkarahisar Prof. Dr. Veysel Eroğlu parkı örneği. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 13 (Ek Sayı:1): 321-331. DOI: 10.29048/makufebed.1163499
- Önder, S. & A.T. Polat, 2012. "Kentsel açık-yeşil alanların kent yaşamındaki yeri ve önemi" Kentsel Peyzaj Alanlarının Oluşumu ve Bakım Esasları Semineri (19 Mayıs 2012, Konya) , 96s.
- Sadana, A.S., 2015. Public perception of visual quality of cut mutia mosque park as public space In Jakarta. Journal of Islamic Architecture, 3 (4): 171-176.
- Sürün, S., 2019. 1. Derece Deprem Kuşağında Yer Alan Balıkesir İli Burhaniye İlçesinde Deprem Parkı Tasarımı Üzerine Bir Çalışma. Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (Basılmamış) Yüksek Lisans Tezi, Bartın, 187 s.
- Tafliha, I. N., 2020. Landscape evaluation of mosque garden based on the concept of islam. Journal Of Islamic Architecture, 6 (2): 112-119. DOI: <https://doi.org/10.18860/jia.v6i2.8028>
- Taib, M. Z. M., & M.T. Rasdi, 2012. Islamic architecture evolution: Perception and behaviour. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 49: 293-303. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.07.027>
- TÜİK, 2023. Türkiye istatistik kurumu, Afyonkarahisar nüfus verileri. (Web sayfası: <https://data.tuik.gov.tr/>) (Erişim tarihi: 19.08.2023).

Araştırma Makalesi (Research Article)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2024, 61 (2):233-248
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1441929>

Erdal ÖZ^{1*} 

Martina JAKOB² 

Hülya ÖZ¹ 

¹ Ege Üniversitesi, Ege Meslek
Yüksekokulu, Tarım Makineleri Programı,
35100, Bornova, İzmir, Türkiye

² Leibniz-Institut für Agrartechnik und
Bioökonomie e.V. Department of
Horticultural Engineering, 14469, Potsdam,
Germany

* Sorumlu yazar (Corresponding author):

erdal.oz@ege.edu.tr

Anahtar sözcükler: 3D hareket, ergonomi,
süt sağım, üst beden eğilme, üst kol
yükselme

Keywords: 3D motion, ergonomics,
milking, trunk inclination, upper arm
elevation

Seyyar süt sağım makineleri ile sağımın üç boyutlu hareket yakalama sistemi yardımıyla ergonomik analizi

Ergonomic analysis of milking with mobile milking machines using 3d motion capture system

Alınış (Received): 24.02.2024

Kabul Tarihi (Accepted): 06.05.2024

ÖZ

Amaç: Bu çalışmada seyyar süt sağım makineleri ile gerçekleştirilen sağım işleminde, çalışma duruşları ve koşullarının üç boyutlu hareket yakalama sistemi yardımıyla ergonomik yönden analizi amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem: Çalışma, ATB (Leibniz Institute for Agricultural Engineering and Bioeconomy, Potsdam-Almanya) Enstitüsü ergonomi laboratuvarında yapay bir meme platformu ve tek sağım üniteli seyyar sağım makinesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üç farklı çalışma duruşu ve üç farklı çalışma yüksekliğinde yapılan denemelerde sağım başlıklarının takılması sırasında üç boyutlu hareket yakalama sistemi yardımıyla üst kol yükselmesi ve üst beden eğilme açıları ölçülmüştür. Değerlendirmeler ISO 11226 standardı, RULA ölçeği ve Borg Skalası'na göre yapılmıştır.

Araştırma Bulguları: Ortalama üst kol yükselme açısının düşük çalışma yüksekliklerinde özellikle tek diz yerde ve çömelme şeklindeki çalışma duruşlarında 42.00- 70.70° arasında değiştiği, bu değerlerin standardın önerdiği kabul edilebilir limitlerin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Üst beden eğilme açısında da benzer durum gözlenmiştir. Algılanan efor derecesinin hafif-çok hafif düzeyde olmasına karşın kol, sırt ve dizlerde çalışma duruşları ve yüksekliklerine bağlı olarak yakınmalar olduğu ortaya çıkmıştır.

Sonuç: Çalışmada Türkiye'de yaygın olarak kullanılan seyyar süt sağım makineleri ile çalışmada ergonomik yönden ciddi rahatsızlık potansiyelinin olabileceğini somut verilerle ortaya konmuştur. Hayvan meme seviyesinin sağımıcının omuz seviyesine yaklaştırılmasının zorlanmaların azalması üzerinde olumlu etkileri olduğu gözlenmiş, bu yönde bilinçlendirme yapılmasının yararlı olacağı kanısına varılmıştır.

ABSTRACT

Objective: The objective of this study was to analyze the working postures and conditions of the milking with mobile milking machines from an ergonomic perspective.

Material and Methods: The study was carried out at ATB-Leibniz Institute in Germany. For the experiments, an artificial udder platform and a mobile milking machine was used. Three different working postures and working heights were chosen. Upper arm elevation and trunk inclination angles were measured using with 3D motion capture system during the attaching clusters. Evaluations were made according to the ISO 11226 standard, RULA scale and Borg Scale.

Results: Average upper arm elevation angles were measured between 42.00° - 70.70° and at low working heights and one knee on the ground and squatting postures. Values were above the acceptable limits recommended by the standard. Similar situation was observed in the trunk inclinations. The perceived exertion level was light to very light, however, there were complaints in the arms, back and knees depending on working postures and heights.

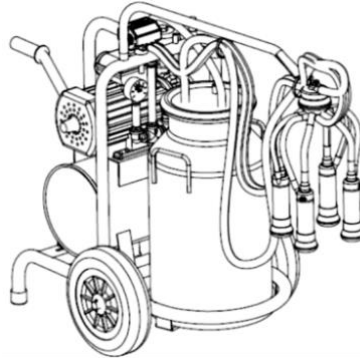
Conclusion: Obtained data revealed that potential ergonomic risks while milking with mobile milking machines, which is widely used in Turkey. Increasing the animal's udder level closer to the worker's shoulder level had positive effects on decreasing strains. Raising awareness in this regard would be beneficial.

GİRİŞ

Hayvancılık zorlu çalışma koşulları ile karakterize olmuş bir tarımsal faaliyet alanıdır. Modern teknolojinin yardımına rağmen hayvan yetiştirme işlemleri hala uzun süreli tekrarlamalı hareketler, yorucu çalışma pozisyonları ve ağır çalışma koşulları içermektedir (Karttunen & Rautiainen, 2011). Bu bağlamda yemleme, altlık serme/temizleme, gübre temizleme, hayvan bakımı ve süt sağım gibi her gün rutin olarak gerçekleştirilen işlemler çalışanların fiziksel ve ergonomik yönden yüklenmelerine neden olmaktadır.

Hayvancılıkla ilgili yukarıda belirtilen faaliyetlerin yaklaşık üçte ikisini süt sağım oluşturmaktadır (Perkio-Makela & Haentila, 2005). Süt sağım işlemi geçtiğimiz yüz yıl boyunca önemli aşamalar kaydetmiştir. Hayvan sayısının artmasına paralel olarak barınak tiplerinde ve sağım sistemlerinde önemli gelişmeler yaşanmıştır. Özellikle sağım robotları gibi otonom sağım sistemleri çalışanların daha az fiziksel yüklenmelere maruz kalmasının sağlanması hedefine önemli katkıda bulunmuştur. Buna rağmen çalışanların ergonomik yönden karşı karşıya kaldıkları risklerde çok da önemli bir ilerleme kaydedilemediği göze çarpmaktadır. Teknolojinin sektöre uyarlanması ile çalışanların fiziksel yüklerinin azaltılması beklense de gerçekte boyun omuz ve üst ekstremiteler rahatsızlıkları ile ilgili sorunların halen devam ettiği değişik araştırmacılar tarafından ortaya konmuştur (Arborelius et al., 1986; Stål et al., 1996; Tuure & Alasuutari, 2009; Kauke et al., 2010; Jakob et al., 2012; Kolstrup & Jakob, 2016).

Günümüzde süt sağım işlemi serbest ya da bağlı ahırlarda seyyar süt sağım makineleri, boru hatlı sağım tesisleri ve robot sağım sistemleri ile gerçekleştirilmektedir. Sağım için ayrı odaların bulunduğu boru hatlı tesislerde sağımçılar hayvanın meme seviyesinden daha düşük seviyede yer alan sağım çukurlarında çalışmaktadırlar. Sağım için ayrı bir oda ya da bölmenin olmadığı az sayıda hayvana sahip işletmelerde ise daha çok seyyar süt sağım makineleri tercih edilmektedir (Şekil 1).

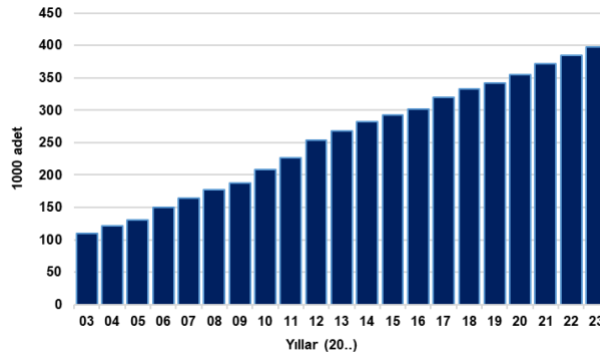


Şekil 1. Tek güğümlü ve tek sağım başlığına sahip bir seyyar süt sağım makinesinin şematik görünüşü.

Figure 1. Schematic view of a single bucket and single milking unit of a mobile milking machine.

Ülkemizde büyük baş hayvancılık işletmelerindeki hayvan sayıları Avrupa ülkelerinin oldukça altındadır. İşletmelerin %81 inde hayvan varlığının 1-9 hayvan gibi çok düşük değerlerde olduğu gözlenmektedir (TUİK, 2023a). Düşük hayvan varlığına paralel olarak seyyar sağım makineleri halen çok yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 2).

Sağım işleminin yarattığı ergonomik risklerle ilgili çalışmalar büyük oranda sağım çukurunda çalışan sağımçılara yöneliktir. Stål et al (2000), süt sağım işleminin bilek ve el rahatsızlıklarının ortaya çıkmasında etkili bir faktör olduğunu, bu rahatsızlıklarının kadın çalışanlarda daha sık görüldüğünü, meme başlıklarının ağırlık ve ölçülerinin kadın eline uyumlu olmadığını ifade etmektedir. Yazarlar, meme başlıklarının hayvan memelerine takılması sırasında üst kolun yükselmesi, dirseğin ileri doğru uzaması, el bileklerinin bükülmesi ve parmakların gerilmesi gibi ergonomik açıdan risk oluşturan birçok hareketin düzenli olarak tekrarlandığını belirlemişlerdir. Memelerin ön temizliği, meme başlıklarının takılıp çıkarılması işleminin çalışanlar tarafından en yorucu iş olarak tanımlandığı ortaya konulmuştur (Pinztke, 2003; Stål et al., 2003).



Şekil 2. Yıllara göre seyyar süt sağım makinesi sayılarındaki değişim (TUİK, 2023b).

Figure 2. Change in the number of mobile milking machines by years (TUİK, 2023b).

Sağım çukurunun derinliğine ve memelere olan mesafelere bağlı olarak üst kol yükselmesinin ve beden eğilmesinin tekrarlı ve sık aralıklarla gerekleştiiği, bunun da çalışanlarda özellikle omuz ağrı ve rahatsızlıklarında artışa neden olduğu belirlenmiştir (Lundqvist et al., 2003; Jakob & Liebers, 2011; Jakob et al., 2012).

Seyyar süt sağım makineleri ile yapılan sağım işlemine kısmen benzer bir yapı gösteren sabit hava boru hatlı kovaya sağım yapan sağım tesislerinde gerçekleştirilen az sayıda çalışmada geleneksel sağım yönteminin eğilip bükülmüş, her iki diz de bükülmüş ya da melmş halde çalışma gerektiren duruşlar içerdiği belirlenmiştir (Perkio-Makela & Haentila, 2005). Sağımın gerçekleştirilmesi sırasında oturma, kalkma ve çömelme eylemlerinin inek başına en az üç dört kez tekrarlanabildiği, özellikle yüksek verimli hayvanlarda sık tekrarlanan bu eylemlerin çalışan açısından dayanılması zor bir hal alabileceği ifade edilmiştir (Groborz et al., 2011). Benzer şekilde hortum ağırlıkları dâhil edildiğinde 6 kilograma varabilecek sağım ünitesinin memelere takılabilmesi için çömelme zorunluluğunun zorlayıcı bir eylem olduğu vurgulanmıştır (Hvang et al., 2010). Öte yandan sadece seyyar süt sağım makineleri ile yapılan sağım işlemindeki vücut duruşlarını inceleyen bir çalışma bulunmamaktadır.

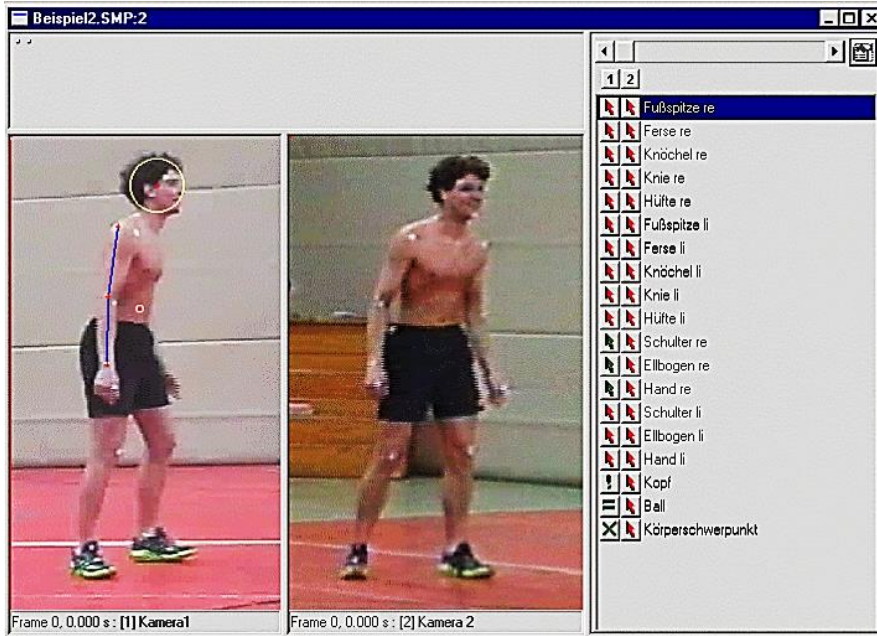
Sağımcıların alışma duruşlarının yaratabileceği ergonomik maruziyetlerin belirlenmesine yönelik araştırmalarda gözlem, geri bildirim ve anket (Lower et al., 1996; Pinzke, 2003; Perkio-Makela & Haentila, 2005; Nonnenmann et al., 2008; Hwang et al., 2010; Innes & Walsh, 2010) ile kalp atım-oksijen tüketimi ölçümü, elektrogonyometri, elektromiyografi, hareket izleme gibi vücut üzerinden veri almaya dayalı doğrudan ölçüm yöntemlerinin (Arborelius et al., 1986; Ahonen et al., 1990; Stl et al., 1999, 2000, 2003; Pinzke et al., 2001; Perkio-Makela & Haentila, 2005; Jakob et al., 2009; Nonnenmann et al., 2010) kullanıldığı belirlenmiştir. Bunlar içerisinde doğrudan ölçüm yöntemleri objektif ve niceliksel ölçümler yapılmasına olanak sağlaması (Hansson et al., 2009) ve maruziyetler hakkında kesin tahminler sunması yönüyle ne çıkmaktadır (Winkel & Mathiassen, 1994; van der Beek & Frings-Dresen, 1998; Burdorf & van der Beek, 1999; Amasay et al., 2009).

Seyyar süt sağım makineleri ile yapılan sağım işleminde sağımcılar büyük oranda kolları omuz hizasının altında, üst kolları yükselmiş, diz çökerek, çömelerek ve ne eğilerek çalışmaktadırlar. Literatürde bu tip makineler kullanılarak yapılan sağım işlemindeki vücut duruşlarını inceleyen bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada, diğer çalışmalardan farklı olarak seyyar süt sağım makineleri ile yapılan sağım işlemindeki vücut duruşlarının yaratabileceği ergonomik maruziyetlerin üç boyutlu hareket yakalama sistemi yardımı ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Meme seviyesinin çalışanın pozisyonuna göre yükseltilmesinin maruziyetler üzerindeki etkisinin ortaya konması çalışmanın bir diğer hedefidir. Bu tarz makinelerin Türkiye'de yaygın olarak kullanıldığı göz önüne alındığında yapılan çalışma ile elde edilecek sonuçların ve çözüm önerilerinin ergonomik koşulların iyileştirilmesi açısından önem arz ettiği dşnlmektedir.

MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışma, Potsdam-Almanya'da yer alan ATB (Leibniz Institute for Agricultural Engineering and Bioeconomy Potsdam e.V.) ergonomi laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Denemelerde gerçek koşulların benzeştirilmesi amacıyla hazırlanmış, dört adet yapay meme başına sahip sağım platformu ile tek güğümlü, 2.4 kg ağırlığa sahip tek sağım başlıklı seyyar süt sağım makinesi kullanılmıştır.

Vücut duruşlarının belirlenmesinde 3 boyutlu hareket yakalama sisteminden yararlanılmıştır. Sistem saniyede 50 poz çekim yapabilen iki adet dijital video kamera (Canon XM2), optik markörler ve yazılımdan oluşmaktadır. Çalışmada 171 cm boyunda gönüllü bir kadın deneğin üzerine koyu renkli bir kazak giydirilmiş, kazağın üzerine beyaz renkli optik markörler yerleştirilmiştir. Markörler el bileği, dirsek, omuz, sırt (C7 ve Th12 omurları) ve kalça (S1 omuru) üzerine yerleştirilmiştir. Farklı açılarda yerleştirilen kameralar tarafından kaydedilen görüntüler SIMI Motion (Unterschleißheim, Germany) firmasına ait bilgisayar yazılımına aktarılmış, kare kare izlenerek optik markörlerin yerleri sisteme tanıtılmış ve 3 boyutlu koordinat eksenleri oluşturulmuştur. Yazılım aracılığı ile markörler belirlenen referans eksenlerine göre birbirlerine birleştirilerek çubuk modeller oluşturulmuştur. Çalışmada üst kol yükselme açılarının belirlenmesi için dirsek-omuz-kalça, üst beden eğilme açılarının belirlenmesi için ise omuz-kalça eksenleri referans eksenler olarak alınmıştır. Yazılım aracılığı ile bu eksenlere göre markörler arası mesafeler, kol ve bedendeki açılar ile kol ve bedenin hareket hızları ve ivmesi gibi parametreler süreye bağlı olarak listelenmiştir. Sisteme ilişkin arayüz görüntüsü Şekil 3 de sunulmuştur.



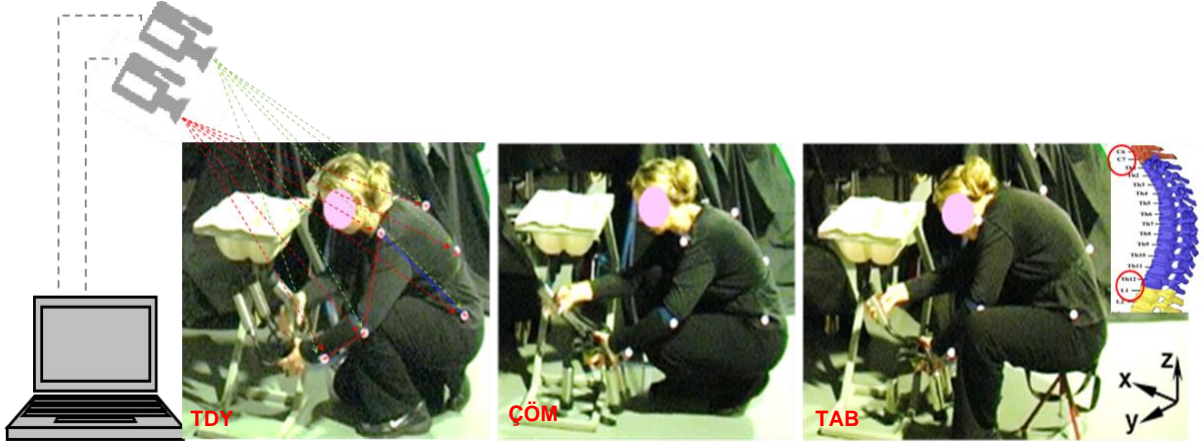
Şekil 3. Yazılıma ilişkin arayüz görüntüsü (SIMI, 1993).

Figure 3. Interface image of the software (SIMI, 1993).

Denemeler üç farklı sağım platformu yüksekliğinde (P-0= Platform yer düzleminde; P-20= Platform yer düzleminde 20 cm yükseklikte; P-30= Platform yer düzleminde 30 cm yükseklikte) ve üç farklı çalışma duruşu-postürde (Tek diz yerde-TDY; Çömelleme-ÇÖM; Taburede oturma-30 cm yüksekliğinde-TAB) gerçekleştirilmiştir. Deneme düzeni, çalışma duruşları ve markör yerleşimleri Şekil 4 de yer almaktadır.

Her bir deneme 10 kez tekrarlanmış, her beşinci ve onuncu denemede Borg 6-20 Skalası kullanılarak deneğin hissettiği rahatsızlık düzeyleri tespit edilmiştir. "Borg Algılanan Efor Skalası" yapılan

iŖ sırasında harcanan efora bağlı olarak ortaya çıkan rahatsızlıkların Ŗiddetini değerlendirmek amacıyla kullanılan bir yöntemdir (Borg, 1982). Yöntemde alıŖanın yaptığı iŖte harcadığı eforun Ŗiddetine göre iŖin güçlüğünü algılama düzeyi 6 ila 20 arasında deęiŖen dereceler ile değerlendirilmektedir (izelge 1).



Ŗekil 4. Deneme düzeni, postürler ve optik markörlerin yerleŖimi.

Figure 4. Experiment design, postures and placement of optical markers.

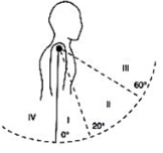

izelge 1. Borg Skalası (6-20) ve algılama Ŗiddetleri

Table 1. Borg Scale (6-20) and perceived exertions

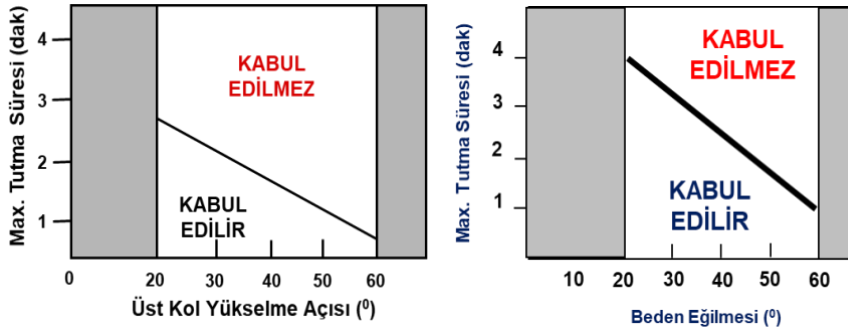
Algılanan Efor Derecesi	Algılama Ŗiddeti
6	Zorlanma yok (dinlenme, oturma)
7	çok çok hafif
8	
9	çok hafif
10	
11	Hafif
12	
13	Bir Ŗekilde zor
14	
15	Zor
16	
17	çok zor
18	
19	AŖırı derecede zor
20	Maksimum zorlanma

alıŖmada yazılım tarafından listelenen veriler kabul edilen referans eksenlerine göre üst kolun yükselme açıları ve üst bedenin eğilme açısı esasında deęerlendirilmiŖtir. Değerlendirmeler söz konusu aıların limitlerini ve kabul edilebilirlik koŖullarını belirleyen ISO 11226 (ISO, 2000) standardı ve uygulamada en sık kullanılan gözlemsel ergonomik değerlendirme yöntemlerinden biri olan RULA yöntemi (McAtamney & Corlett, 1993) esas alınarak yapılmıŖtır. Standartta belirtilen limitler ve kabul edilebilirlik koŖulları izelge 2 de yer almaktadır.

Çizelge 2. Üst kol yükselme ve üst beden eğilme açısı limitleri ve kabul edilebilirlik koşulları (ISO, 2000)**Table 2.** Upper arm elevation and trunk inclination angle limits and acceptability conditions. (ISO, 2000)

Üst Kol Yükselme	Yükselme Açısı (°)	Statik Postür	Hareket	
			Düşük Frekans (<2/s)	Yüksek Frekans (>2/s)
	0-20	KABUL EDİLİR	KABUL EDİLİR	KABUL EDİLİR
	20-60	ŞARTLI KABUL EDİLİR ¹ ¹ Kol desteği varsa, yoksa çalışma ve dinlenme sürelerine bağlı	KABUL EDİLİR	ŞARTLI KABUL EDİLİR ² ² <10 hareket/dakika, kısa süreli makine kullanımı varsa
	> 60	KABUL EDİLMEZ	ŞARTLI KABUL EDİLİR ³ ³ Makine kullanımı yoksa	KABUL EDİLMEZ
Üst Beden Eğilme	Eğilme Açısı (°)			
	< 20	KABUL EDİLİR		
	20-60	MAKSİMUM TUTMA SÜRESİNE BAĞLI		
	> 60	KABUL EDİLMEZ		

Standartta belirtilen açısal limitlerin kabul edilebilirliği aynı zamanda üst kol ve üst beden belirlenen açılarda tutulma süreleri ile de ilişkilendirilmiş durumdadır (Şekil 5)

**Şekil 5.** Üst kol yükselme ve üst beden eğilme açalarına göre maksimum tutma süreleri (ISO, 2000).**Figure 5.** Maximum holding times according to upper arm elevation and trunk inclination angles (ISO, 2000).

Derlenen veriler IBM® SPSS® Statistics V25 paket programında varyans analizi (ANOVA) ve Duncan testine tabi tutularak %95 anlam düzeyinde istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Değerlendirmede her platform yüksekliği ve her postür için tesadüfen seçilen dört veri bloğu esas alınmıştır.

ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Üst kol yükselme açısı

İlgili standart üst kol yükselme açılarının kabul edilebilirliğini çalışma duruşunun (postür) statik ya da hareketli olmasına göre değerlendirmektedir. Bu çalışmada referans alınan unsura göre her iki durumun da mevcut olabileceği düşünülmektedir. Değerlendirme salt deneğin duruşu esas alınarak yapıldığında statik postürün varlığından söz edilebilir. Öte yandan sağım başlığının meme seviyesine yükseltilip meme başlıklarının takılması dinamik bir eylemdir. Bu durumda değerlendirmelerin hareketin frekansına göre de yapılması zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Sağım başlığının tek elle kavranması ve 4 ayrı meme başlığının tek tek memelere takılması olmak üzere toplam 5 eylemin gerçekleştirildiği göz önüne alınarak ortalama çalışma sürelerine bağlı olarak belirlenen hareket frekansları Çizelge 3 de sunulmuştur.

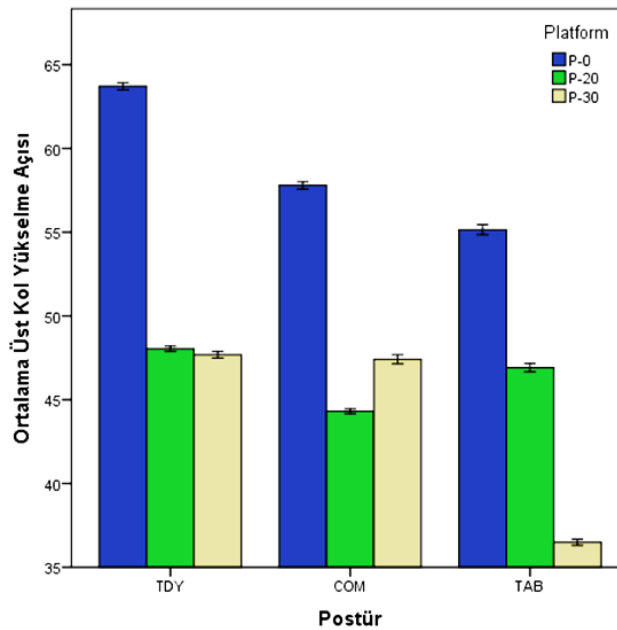
Çizelge 3. ISO 11226 standardına göre belirlenen hareket frekansları

Table 3. Determined movement frequencies according to ISO 11226 standard

	Çalışma Duruşları								
	Tek diz yerde			Çömelme			Taburede oturma		
	h1	h2	h3	h1	h2	h3	h1	h2	h3
Platform Yüksekliği									
Ortalama Çalışma Süresi (s)	12.43	9.83	8.75	8.85	9.52	7.92	9.43	8.69	8.03
Tekrarlanan Hareket Sayısı	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Hareket Frekansı (s^{-1})	2.49	1.97	1.75	1.77	1.70	1.58	1.96	1.74	1.60
Frekans Düzeyi (ISO 11266)	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük

Belirlenen hareket frekanslarının standarda göre düşük düzeyli olduğu gözlenmektedir. Öte yandan bu değerlendirmenin sadece bir hayvan için meme başlıklarının memelere takılması sırasındaki eylemlere göre yapıldığı hatırdan çıkarılmamalıdır. Gerçek koşullarda sağım başlığının takılması dışında meme temizliği, ön sağım, son sağım, sağım başlığının çıkarılması, meme başlarının dezenfekte edilmesi, makinenin diğer hayvanlara yönlendirilmesi, sağım başlığının ara dezenfeksiyonu, süt güğümlerinin taşınması ve boşaltılması gibi ek eylemler de mevcuttur. Benzer şekilde Ulbricht et al. (2014), sağım başlıklarının takılmasının sağım sürecinin çok küçük bir kısmını oluşturduğunu, toplanan sütün aktarılması da dâhil olmak üzere en az 10 farklı eylemin daha gerçekleştirildiğini belirtmişlerdir. Groborz et al. (2011) ise bir kez meme başlıklarını dezenfekte etme ve takma, bir kez de memeden ayırma ve çıkarma eylemlerinin inek başına iki kez çömelmeyi gerektirdiğini ortaya koymuştur. Bu açıdan seyyar sağım makineleri ile yapılan çalışmanın yüksek frekanslı hareket içeren bir yapıya sahip olduğu açıktır.

İlgili standart üst kol yükselme açısı limitlerini her iki koşulda da (statik postür ya da hareket) 20 dereceyi aşmadığı sürece kabul edilebilir nitelikte değerlendirmektedir. Bu doğrultuda üst kolun referans eksenine göre ölçülen ortalama yükselme açıları Şekil 6 da verilmiştir.



Şekil 6. Postürler ve platform yüksekliğine bağlı olarak ölçülen ortalama üst kol yükselme açıları ve standart sapmalar.

Figure 6. Mean upper arm elevation angles and standart derivations depending on postures and platform height.

Üst kol yükselme açılarının tüm postür ve tüm platform yüksekliklerinde gerek statik postür gerekse yüksek frekanslı hareket açısından standardın belirlediği alt limit olan 20 derecenin üzerinde değerler aldığı görülmektedir. Sağım platformunun zemin seviyesinde olduğu (P-0) ve TDY çalışma şeklinin bu açıdan kabul edilmez nitelikte ($>60^\circ$) olduğu göze çarpmaktadır. Çömelerek gerçekleştirilen çalışmanın da paralel bir seyir izlediği gözlenmiştir.

Yapılan varyans analizinde platform yüksekliği, postür ve bunların interaksyonunun istatistiksel anlamda önemli olduğu gözlenmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Üst kol yükselme açılarının platform yüksekliği ve postüre göre değişimi ve interaksyonlarının varyans analizi

Table 4. Variation analysis of upper arm elevation angles according to platform height and posture and their interactions

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1021478.48 ^a	8	127684.81	5245.58	.000
Intercept	40572110.09	1	40572110.09	1666792.95	.000
Platform	738153.28	2	369076.64	15162.49	.000
Postür	137691.01	2	68845.50	2828.33	.000
Platform*Postür	94896.69	4	23724.17	974.64	.000
Error	406428.72	16697	24.34		
Total	44148714.00	16706			
Corrected Total	1427907.20	16705			

Platform yüksekliği ve postüre bağlı olarak üst kol yükselme açıları arasındaki ilişkilerin istatistiksel açıdan önem arz ettiği belirlenmiştir. Platform yüksekliğinin artması ve taburede oturmayı içeren postürün diğerlerine göre nispeten daha iyi sonuçlar sunduğu gözlenmiştir (Çizelge 5).

Çizelge 5. Üst kol yükselme açılarının platform yüksekliği ve postürlere göre DUNCAN gruplaması ($\alpha = 0.05$)

Table 5. DUNCAN grouping of upper arm elevation angles according to platform height and postures ($\alpha = 0.05$)

Platform Yüksekliği	N	Üst Kol Yükselme Açısı	Postür	N	Üst Kol Yükselme Açısı
P-0	6274	59.34 ^a	TDY	6168	54.33 ^a
P-20	5558	46.49 ^b	ÇÖM	5102	50.02 ^b
P-30	4874	43.93 ^c	TAB	5436	46.82 ^c
Sig.		1.000			1.000

Sağım çukuruna sahip süt sağım tesislerinde gerçekleştirilen çalışmalar artan çalışma yüksekliklerinin üst kol yükselme açılarının artmasını doğrudan etkilediğini, omuz seviyesinin üstünde ya da altında çalışmanın kas eforunu ciddi derecede arttırdığını, kolun omuz hizasına kadar kaldırılmasının omuz kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına yakalanma riskini arttırdığını ortaya koymuştur (Jakob et al., 2009, 2012; Oyama et al., 2017). Ancak bu çalışmalar sağım çukurunda, ayakta ve hayvanın meme seviyesine uzanarak sağımı gerçekleştiren sağımçıları irdellemektedir. Bu açıdan mevcut çalışmadaki verilerle kıyaslama olasılığı söz konusu değildir. Bu çalışmadaki çalışma duruşlarına benzer çalışma duruşlarının değerlendirildiği tek çalışmada dizin yere dayanarak, çömelerek ve tabureye oturarak gerçekleştirilen çalışma duruşlarının omuz kaslarında ortalama 13 Nm değerinde bir moment yarattığı, ayakta ve eğilerek gerçekleştirilen çalışma duruşlarına göre yaklaşık iki kat daha yüksek değerde olduğu belirlenmiştir (Arborelius et al., 1986). Ne var ki, bu çalışmada üst kolun yükselmesi ve üst bedenin eğilmesi yönünde bir ölçüm yapılmamıştır.

Çalışmanın oturularak ve düşük çalışma yüksekliklerinde gerçekleştirilmesine rağmen üst kol yükselme açısı değerlerinin ayakta gerçekleştirilen meyve toplama ve sağım çukurunda gerçekleştirilen sağım işlemleri ile paralellik arz etmesi ilgi çekici olarak nitelendirilebilir. Bu durumun platformun alçak seviyede olmasına bağlı olarak daha fazla öne doğru eğilme gereksinimi doğmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Nitekim platform yüksekliğinin artmasına paralel olarak değerlerde hızlı düşüşler olduğu belirlenmiştir. Yükseltilmiş platform ve taburede oturma bileşiminin bu açıdan kabul edilebilir sınırlara yakın olduğu görülmektedir.

Elde edilen sonuçlar statik postür varsayımı ile değerlendirilirse standart gereği kabul edilebilirlik kolun desteklenmesine bağlıdır (Çizelge 2). Pratikte bu koşulun sağlanması pek mümkün değildir. Konu ile ilgili yapılan bir çalışmada tasarımın kas yükü ve kas iyileşmesi üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir (Stål et al., 2003).

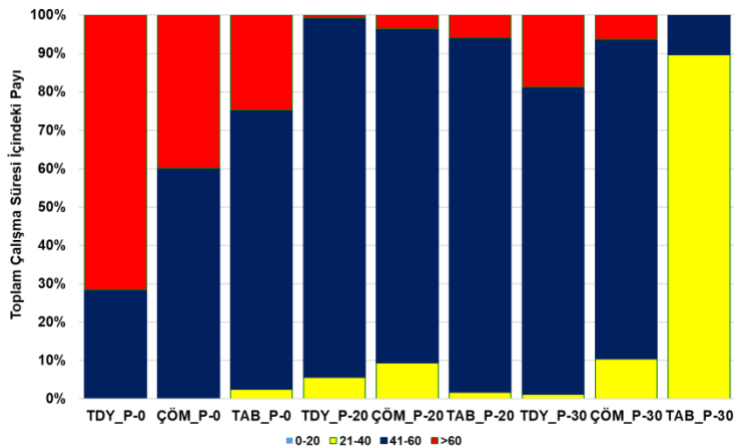
Süt sağım işleminin daha çok dinamik bir iş olduğu göz önüne alındığında üst kolun standartta belirtilen açısal aralıklarda ne kadar süre ile tutulduğu önem kazanmaktadır. Buna göre üst kol yüksekliğinin artması durumunda tutma süresinin azaltılması gerektiği belirtilmekte ve 20°'nin üzerinde kaldırılan kollar için 3 dakikadan uzun tutma süresi önerilmemektedir (Şekil 3). Bu doğrultuda ilgili standartta yer almamasına karşın RULA yönteminde kritik değer olarak (45°) kabul edildiği için 20-40° arasındaki üst kol yükselme açıları da dahil edilerek en düşük ve en yüksek tutma süreleri Çizelge 6 da verilmiştir.

Çizelge 6. Üst kolun postürler ve platform yüksekliklerine bağlı olarak açısal aralıklardaki tutma süreleri

Table 6. Holding times of upper arm in angular ranges depending on postures and platform heights

Postürler	Platform Yüksekliği	Açısal Aralıklara Göre Tutma Süreleri (s)							
		0 - 20°		21 - 40°		41 - 60°		>60°	
		En Düşük	En Yüksek	En Düşük	En Yüksek	En Düşük	En Yüksek	En Düşük	En Yüksek
TDY	P-0	--	--	--	--	0.06	10.42	0.38	11.96
	P-20	--	--	0.26	0.84	8.40	11.30	0.02	0.14
	P-30	--	--	0.02	0.20	0.10	9.76	0.02	8.28
ÇÖM	P-0	--	--	--	--	0.34	8.50	0.06	7.76
	P-20	--	--	0.26	1.80	0.12	10.10	0.08	0.56
	P-30	--	--	0.08	1.14	0.04	8.50	0.30	0.96
TAB	P-0	--	--	0.04	0.28	0.12	9.46	0.02	4.46
	P-20	--	--	0.14	1.96	0.38	9.14	--	--
	P-30	--	--	0.02	8.36	0.24	1.00	--	--

Elde edilen sonuçların tüm postürler ve platform yükseklikleri için standardın belirlediği değerler altında kaldığı görülmektedir. Her ne kadar düşük değerler elde edilmiş olsa da ergonomik açıdan etkileşimleri öngörebilmek için üst kolun belirtilen açısal sektörlerde tutulma süresinin toplam çalışma süresinin ne kadarını oluşturduğunun bilinmesi gerektiği düşünülmektedir. Bu bağlamda ortalama tutma sürelerinin toplam çalışma süreleri içindeki payı Şekil 7 de verilmiştir.



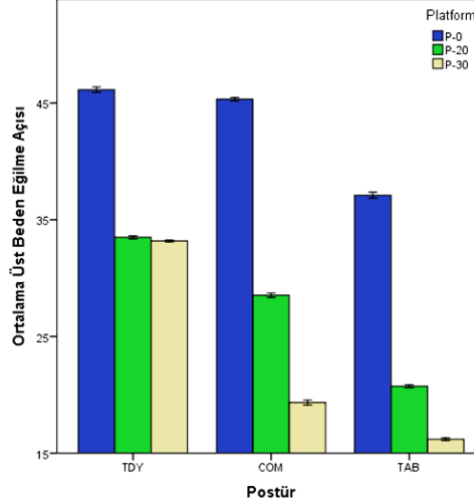
Şekil 7. Postürler ve platform yüksekliklerine bağlı olarak üst kol yükselmesinin toplam çalışma süresi içindeki payı.

Figure 7. Share of upper arm elevation in total working time depending on postures and platform heights.

Üst kolun 40° den fazla yükseldiği çalışma koşullarının toplam çalışma süresi içindeki payının kayda değer nitelikte olduğu gözlenmiştir. Bu çalışmada gözlenen dağılımın önceki çalışmalarla büyük oranda benzerlik gösterdiği ifade edilebilir. Tutma sürelerinin dağılımına ilişkin çalışmalar toplam iş gününün ortalama %25 inde kolun 45° den, başlıkların bağlandığı sürenin ise yaklaşık %10 unda 60° den daha yüksekte tutulduğunu ortaya koymaktadır (Tuure & Alessutari, 2009; Douphrate et al., 2012).

Üst beden eğilme açısı

İlgili standart üst bedendeki eğilmelerin alt sınırını 20° olarak belirlemiştir. Bu doğrultuda üst beden referans eksene göre ölçülen ortalama eğilme açıları Şekil 8 de yer almaktadır.



Şekil 8. Çalışma duruşları ve platform yüksekliğine bağlı olarak ölçülen ortalama üst beden eğilme açıları ve standart sapmalar.

Figure 8. Mean trunk inclination angles and standart derivations depending on working postures and platform height.

Üst beden eğilme açılarının düşük platform yüksekliklerinde (P-0) tüm postürler için standardın kabul ettiği sınır değer (20°) üzerinde değerler aldığı göze çarpmaktadır. Bu durumun üst kol yükselme açıları olduğu gibi memelere ulaşmak için daha fazla eğilme gereksiniminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Platform yüksekliğinin artması ile birlikte eğilme açıları keskin düşüşler belirlenmiştir. Özellikle yükseltilmiş platform (P-30) ve taburede oturma şeklinde gerçekleştirilen çalışmanın hem ilgili standart hem de RULA değerlendirme yönteminin kabul ettiği en düşük değer (20°) altında sonuçlar ürettiği göze çarpmaktadır.

Yapılan varyans analizinde platform yüksekliği, postür ve bunların interaksyonunun istatistiksel anlamda önemli olduğu gözlenmiştir (Çizelge 7).

Çizelge 7. Üst beden eğilme açılarının platform yüksekliği ve postüre göre değişimi ve interaksyonlarının varyans analizi

Table 7. Variation analysis of trunk inclination angles according to platform height and posture and their interactions

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1789644.24 ^a	8	223705.53	13257.95	.000
Intercept	15891178.94	1	15891178.94	941793.58	.000
Platform	1234993.20	2	617496.60	36596.05	.000
Postür	475770.72	2	237885.36	14098.319	.000
Platform*Postür	83229.98	4	20807.50	1233.160	.000
Error	281733.73	16697	16.87		
Total	19319733.00	16706			
Corrected Total	2071377.97	16705			

Platform yüksekliği ve postüre bağlı olarak üst beden eğilme açıları arasındaki ilişkilerin istatistiksel açıdan önem arz ettiği belirlenmiştir. Platform yüksekliğinin artması ve taburede oturmayı içeren postürün diğerlerine göre en iyi sonucu ortaya koyduğu gözlenmiştir (Çizelge 8).

Çizelge 8. Üst beden eğilme açılarının platform yüksekliği ve postürlere göre DUNCAN gruplaması ($\alpha = 0.05$)

Table 8. DUNCAN grouping of trunk inclination angles according to platform height and postures ($\alpha = 0.05$)

Platform Yüksekliği	N	Üst Beden Eğilme Açısı	Postür	N	Üst Beden Eğilme Açısı
P-0	6274	43.09 ^a	TDY	6168	38.57 ^a
P-20	5558	27.63 ^b	ÇÖM	5102	31.63 ^b
P-30	4874	23.16 ^c	TAB	5436	25.30 ^c
Sig.		1.000			1.000

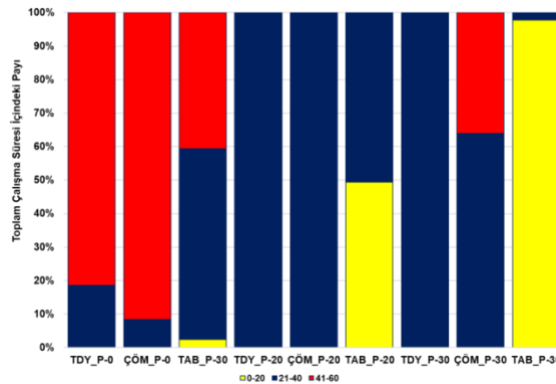
ISO 11226 standardı 20° nin üzerindeki üst beden eğilme açılarının kabul edilebilirliğini beden bu açı aralıklarında tutulma süresine bağlı olarak değerlendirmektedir (Şekil 3). Buna göre çalışma duruşları ve platform yüksekliklerine göre ölçülen en düşük ve en yüksek üst beden eğilme açıları Çizelge 9 da verilmiştir.

Çizelge 9. Üst beden postürler ve platform yüksekliklerine bağlı olarak açısal aralıklardaki tutma süreleri

Table 9. Holding times of upper body in angular ranges depending on working postures and platform heights

Postürler	Platform Yüksekliği	Açısal Aralıklara Göre Tutma Süreleri (s)					
		0 - 20°		21 - 40°		41 - 60°	
		En Düşük	En Yüksek	En Düşük	En Yüksek	En Düşük	En Yüksek
TDY	P-0	--	--	0.1	12.34	0.02	11.42
	P-20	--	--	8.70	11.40	--	--
	P-30	--	--	5.66	10.72	--	--
ÇÖM	P-0	--	--	0.58	8.80	0.52	9.34
	P-20	0.12	7.98	0.28	9.74	--	--
	P-30	0.46	8.52	0.28	5.22	--	--
TAB	P-0	0.10	0.68	0.04	9.42	--	--
	P-20	0.04	10.70	0.24	0.66	--	--
	P-30	6.50	9.18	--	--	--	--

Çalışmada ölçülen sürelerin standardın kabul ettiği değerlerin oldukça altında olduğu göze çarpmaktadır. Öte yandan üst kol yükselme açıları olduğu gibi salt tutma sürelerine dayanarak yorum yapmanın doğru olmayacağı düşünülmektedir. Bu doğrultuda üst beden söz konusu edilen açısal aralıklarda tutma sürelerinin toplam çalışma zamanı içindeki payının belirlenmesi daha gerçekçi bir değerlendirme yapmak açısından faydalı olacaktır. Buna göre ortalama tutma sürelerinin toplam çalışma süreleri içindeki payı Şekil 9 da verilmiştir.

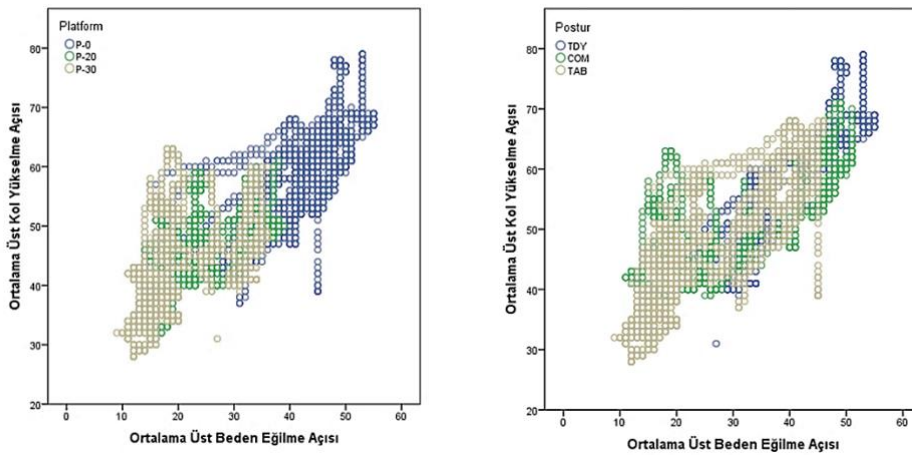


Şekil 9. Postürler ve platform yüksekliklerine bağlı olarak üst beden eğilmesinin toplam çalışma süresi içindeki payı.

Figure 9. Share of trunk inclination in total working time depending on postures and platform heights.

Seyyar sağım makineleri ile yerden düşük yüksekliklerde yapılan sağım işleminde vücudun büyük bir bölümünün toplam çalışma zamanının %70 inden fazlasında öne doğru bükülmüş olduğu belirlenmiştir (Hayati et al., 2015). Araştırmalar omuz seviyesinin altındaki çalışmalarda üst bedendeki eğilmelerin kabul edilebilir limitin (20°) üzerine çıktığını ve sırtın büküldüğünü (Jakob et al., 2012), meme yüksekliğinin artması ile sırt kaslarındaki gerilmelerin azaldığını, memelerin omuz seviyesinde ya da üstünde olması durumunda sırtın alt kısımlarındaki yükün düşüş gösterdiğini ortaya koymaktadır (Oyama et al., 2017).

Bu doğrultuda bu çalışmada elde edilen sonuçların sözü edilen bulgularla paralellik gösterdiği ifade edilebilir. Platform yüksekliğinin üst kol yükselme açısı ile üst beden eğilme açısı interaksiyonuna etkisinin postüre göre daha baskın olduğu göze çarpmaktadır (Şekil 10).



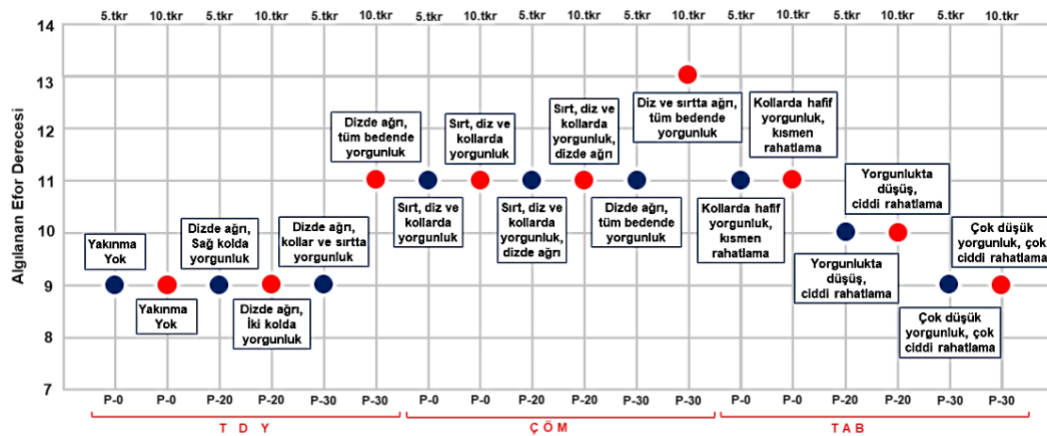
Şekil 10. Postürler ve platform yüksekliklerine bağlı olarak üst kol yükselme açısı ile üst beden eğilme açısının ilişkisi.

Figure 10. Relations between upper arm elevation angle and trunk inclination angle depending on postures and platform heights.

Platform yüksekliğinin artırılmasının özellikle üst kol yükselme açılarının düşmesinde olumlu yönde etkisi olduğu göze çarpmaktadır. Bu etkinin postür açısından çok belirgin olmadığı gözlenmektedir. Bu durumun süt sağım işleminde gerçekleştirilen eylemlerin dinamik yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Algılanan efor

Çalışma duruşları ve platform yüksekliğine bağlı olarak denegin algıladığı efor ya da zorluk dereceleri Şekil 11 de yer almaktadır.



Şekil 11. Postürler ve platform yüksekliklerine bağlı olarak gönüllünün algıladığı efor ve zorlanmalar.

Figure 11. Perceived effort and strains of volunteer's depending on postures and platform heights.

Deneğin her beşinci ve onuncu denemede beyan ettiği efor ya da zorlanma derecelerinin Borg skalasına göre çok hafif - hafif düzeyde olduğu gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar sağım çukurunda hafif sağım üniteleri ile gerçekleştirilen sağım işlemindeki sonuçlarla benzerlik göstermektedir (Jakob et al., 2012). Buna rağmen deneğin özellikle TDY ve ÇÖM postürlerinde yakınmalarının ciddi düzeyde olduğu göze çarpmaktadır. Sağım ünitelerinin takılmasının omuz, kol ve ellere statik ve dinamik kas yükleri uyguladığından yorgunluk ve diğer etkilerin görülme olasılığının arttığı değişik çalışmalarda ortaya konmuştur (Bjorksten & Jonsson, 1977; Ulmer, 1989). Bu çalışmada da tüm çalışma duruşları ve platform yüksekliklerinde en sık beyan edilen yakınmanın yorgunluk olduğu gözlenmektedir.

Sağım işlemlerinde omuz, kol ve ellerin yanı sıra dizlerde de önemli sorunların gözlemlendiği bilinmektedir (Liebers & Caffier, 2006). Denemelerde yorgunluktan sonra en sık beyan edilen diğer bir yakınmanın diz ağrılı olduğu göze çarpmaktadır. Özellikle bağlı ahırlarda ve bu çalışmadaki çalışma duruşlarına benzer duruşlarda gerçekleştirilen araştırmalarda toplam çalışma süresinin %32'sinde dizin biçimsiz pozisyonlarda tutulduğu (Nevala-Puranen et al., 1996), bu süreçte dizin 70°-110° arasında değişen kıvrılma değerlerine ulaşıldığı belirlenmiştir (Nonnenmann et al., 2010).

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar gerçek sağım koşulları esasında değerlendirildiğinde düşük çalışma yükseklikleri ve dizlerin kıvrılmak durumunda kaldığı çalışma duruşlarının ergonomik açıdan sorun yaratma potansiyeli olduğu ifade edilebilir. Üçer (2008), aynı anda iki hayvan sağabilen iki ayrı sağım başlığına sahip seyyar süt sağım makinesi ile gerçekleştirdiği çalışmasında sağım süresinin günde bir kez sağım için yaklaşık 7 dakika olduğunu, başlıkların memelere takılmasının 45 saniye (hayvan başına 22.5s), sökölmesinin ise 18 saniye (hayvan başına 9s) sürdüğünü belirlemiştir. Özellikle başlıkların memeye takılma sürelerinin bu çalışmada elde edilen sürelerden daha yüksek olduğu göze çarpmaktadır. Bu süre toplam süre içerisinde düşük bir orana sahip gözükse de meme başlıklarının takılması işleminin en yorucu görev olarak tanımlandığı, başlıkların ağır olması durumunda harcanan kas eforunun artış gösterdiği ortaya konmuştur (Stal, et al., 1996; Jakob et al., 2009). Büyükbaş hayvancılık işletmelerindeki ortalama hayvan sayısı (1-9 hayvan) esas alındığında söz konusu işlemlerin tek sağım ünitesine sahip makinelerde on kez, çift üniteye sahip makinelerde ise beş kez tekrarlanması durumu söz konusu olacaktır. Meme temizliği, ön sağım, son sağım ve meme başlarının dezenfekte edilmesi işlemleri de dâhil edildiğinde üst kollardaki yükselmenin meyve toplama işlemine yakın düzeyde (Öz & Jakob, 2020) olacağı ifade edilebilir. Sağımın, her gün ve günde iki kez gerçekleştirildiği dikkate alındığında, üst kol yükselmesi ve üst beden eğilmesinden kaynaklanan kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının ortaya çıkmasına neden olacak önemli bir faktör olarak değerlendirilebilir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Farklı ahır tipleri ve sağım sistemleri ile gerçekleştirilen araştırmalar sağım işleminin tüm gelişmelere rağmen çalışanların kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları açısından ciddi etkisinin devam ettiğini ortaya koymuştur. Sürdürölen iş genel anlamda hafif olarak algılanmakla birlikte özellikle sağım başlıklarının takılması işlemi zahmetli ve yorucu olarak nitelendirilmektedir.

Türkiye'de makine ile süt sağım işleminin yarattığı ergonomik maruziyetleri inceleyen bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada ölkemizde büyükbaş hayvancılık işletmelerindeki düşük sayılı hayvan varlığı nedeniyle hâlihazırda yaygın olarak kullanılan seyyar süt sağım makineleri ile gerçekleştirilen süt sağım işlemindeki çalışma koşullarının ergonomik yönden ciddi düzeyde olumsuzluklar yaratabileceği somut verilerle ortaya konmuştur.

Sonuçlar geleneksel sağım şekillerinin (tek diz yerde ya da çömelme) üst kol yükselmesi ve üst beden eğilmesi açısından kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına neden olabilecek potansiyelde olduğunu ortaya koymuştur. Sağımın kısa sürdüğü gerekçesi ile sık başvuru olan bu çalışma duruşlarının günlük tekrarlar da dikkate alındığında çalışanların sağlığını olumsuz yönde etkileyebileceğinin kaçınılmaz olduğu düşünölmektedir.

Çalışmada meme seviyesinin yükseltilmesinin hem ilgili standartlarda belirtilen limitler hem de çalışma konforu açısından ciddi katkısı olduğu belirlenmiştir. Bu açıdan hayvanların meme seviyesinin sağımcinin omuz seviyesine yakın olacak şekilde yüksek bir platforma çıkarılarak sağılmaları, bunun gerçekleştirilememesi durumunda ise en azından yüksek olmayan (ortalama 30 cm) bir taburede oturarak sağımın gerçekleştirilmesinin kas-iskelet sistemi üzerindeki zorlanmaları en az düzeye indirmek açısından önemli katkı sağlayacağına inanılmaktadır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlara dayanılarak gerçek sağım koşullarında karşılaşılabilecek ergonomik maruziyetlerin gerçekçi olarak ortaya konması ve bu yönde çalışanların bilinçlendirilmesinin büyük önem taşıdığı düşünülmektedir.

Veri Kullanılabilirliği

Veriler makul talep üzerine sağlanabilmektedir.

Yazar Katkıları*

Çalışmanın konsepti ve tasarımı: EÖ, MJ, HÖ; örnek toplama: MJ, HÖ, EÖ; verilerin analizi ve yorumlanması: MJ, EÖ; istatistiksel analiz: EÖ; görselleştirme: EÖ, HÖ; makalenin yazımı: EÖ, HÖ.

Çıkar Çatışması

Bu çalışmada yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Etik Beyan

Bu araştırma için etik kurula ihtiyaç olmadığını beyan ederiz.

Finansal Destek

Bu çalışma finansal olarak desteklenmemiştir

Makale Açıklaması

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

KAYNAKLAR

- Ahonen, E., J.M. Venäläinen, U. Könönen & T. Klen.1990. The physical strain of dairy farming. *Ergonomics*, 33 (12): 1549-1555. <https://doi.org/10.1080/00140139008925353>
- Amasay, T., K. Zodrow, L. Kincl, J. Hess & A. Darduna, 2009. Validation of tri-axial accelerometer for the calculation of elevation angles. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39 (5): 783-789. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2009.03.005>
- Arborelius, U.P., J. Ekholm, R. Nisell, G. Németh & O. Svensson, 1986. Shoulder load during machine milking - an electromyographic and biomechanical study. *Ergonomics*, 29 (12): 1591-1607. <https://doi.org/10.1080/00140138608967272>
- Bjorksten, M. & B. Jonsson, 1977. Endurance limit of force in long-term intermittent static contractions. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 3 (1): 23-27.
- Borg, G. 1982. Psychophysical bases of perceived exertion, *Medicine & Science in Sports & Exercise*,14 (5): 377-381.
- Burdorf, A. & A. van der Beek, 1999. Exposure assessment strategies for work-related risk factors for musculoskeletal disorders. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 25 (Suppl. 4): 25-30.
- Douphrate, D.I., N.B. Fethke, M.W. Nonnenmann, J.C. Rosecrance & S.J. Reynolds, 2012. Full shift arm inclinometry among dairy parlor workers: A feasibility study in a challenging work environment. *Applied Ergonomics*, 43 (3): 604-613. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2011.09.007>
- Groborz, A., T. Tokarski & D. Roman-Liu, 2011. Analysis of postural load during tasks related to milking cows-A case study. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 17 (4): 423-432. <https://doi.org/10.1080/10803548.2011.11076905>

- Hansson, G., I. Balogh, K. Ohlsson, L. Granqvist, C. Nordander, I. Arvidsson, I. Akesson, J. Unge, R. Rittner, U. Stromberg & S. Skerfving, 2009. Physical workload in various types of work: Part I. wrist and forearm. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39 (1): 221-233. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2008.04.003>
- Hanvold, T.N., M. Wærsted, A.M. Mengshoel, E. Bjertness & K.B. Veiersted, 2015. Work with prolonged arm elevation as a risk factor for shoulder pain: a longitudinal study among young adults. *Applied Ergonomics*, 47: 43-51. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2014.08.019>
- Hayati, A., A. Marzban & M.A. Asoodar, 2015. Ergonomic evaluation of hand and mechanized milking in dairy farms. *Journal of Ergonomics*, 3 (3): 65-75.
- Hwang, J., Y-K. Kong & M-C. Jung, 2010. Posture evaluations of tethering and loose-housing systems in dairy farms. *Applied Ergonomics*, 42 (1): 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2010.03.008>
- Innes, E. & C. Walsh, 2010. Musculoskeletal disorders in Australian dairy farming. *Work*, 36 (2):141-55. <https://doi.org/10.3233/WOR-2010-1016>.
- ISO, 2000. ISO 11226:2000. Ergonomics-Evaluation of static working postures. International Standard Organisation, 19 pp.
- Jakob, M. & F. Liebers, 2011. Potential of a quarter individual milking system to reduce the workload in large-herd dairy operations. *Journal of Agromedicine*, 16 (4): 280-291. <https://doi.org/10.1080/1059924X.2011.605713>
- Jakob, M., F. Liebers & S. Behrendt, 2009. The influence of varying working heights and weights of milking units on the body posture of female milking parlour operatives. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*, Manuscript MES 1355, Vol. XI (2009), 10 pp.
- Jakob, M., F. Liebers & S. Behrendt, 2012. The effects of working height and manipulated weights on subjective strain, body posture and muscular activity of milking parlor operatives - Laboratory study. *Applied Ergonomics*, 43 (4): 753-761. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2011.11.009>
- Karttunen, J.P. & R.H. Rautiainen, 2011. Risk factors and prevalence of declined work ability among dairy farmers. *Journal of Agricultural Safety and Health*, 17 (3): 243-257. <https://doi.org/10.13031/2013.38185>
- Kauke, M., F. Korth, P. Savary & M. Schick, 2010. "Workload in modern dairy farms—Assessment from the user's perspective, 1-4". *Proceedings of CIGR XVIIth World Congress*. (13-17 June 2010 Québec/Kanada), 404s.
- Kolstrup, C.L. & M. Jakob, 2016. Epidemiology of musculoskeletal symptoms among milkers and dairy farm characteristics in Sweden and Germany. *Journal of Agromedicine*, 21 (1): 43-55. <https://doi.org/10.1080/1059924X.2015.1106373>
- Liebers, F. & G. Caffier, 2006. Muskel-skelet-erkrankungen in land und forstwirtschaft sowie gartenbau-Diagnose und berufsspezifische auswertung von arbeitsunfähigkeitsdaten. *Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Umwelt Medizin*, 41 (3): 129.
- Lower, T., B. Fuller & F. Tonge, 1996. Factors associated with back trouble in dairy farmer. *Journal of Agricultural Safety and Health*, 2 (1): 17-25. <https://doi.org/10.13031/2013.19438>
- Lundqvist, P., M. Stål & S. Pinzke, 2003. "Working conditions & ergonomics when milking cows, 59-65". *Fifth International Dairy Housing Proceedings* (29-31 January 2003, Texas, USA), 419s. <https://doi.org/10/13031/2013.11603>
- McAtamney, L. & E.N. Corlett, 1993. RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*, 24 (2): 91-99. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(93\)90080-S](https://doi.org/10.1016/0003-6870(93)90080-S)
- Nevala-Puranen, N., M. Kallionpää & K. Ojanen, 1996. Physical load and strain in parlor milking. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 18 (4): 277-282. [https://doi.org/10.1016/0169-8141\(95\)00054-2](https://doi.org/10.1016/0169-8141(95)00054-2)
- Nonnenmann, M.W., D.C. Anton, F. Gerr, L. Merlino & K. Donham, 2008. Musculoskeletal symptoms of the neck and upper extremities among Iowa dairy farmers. *American Journal of Industrial Medicine*, 51 (6): 443-451. <https://doi.org/10.1002/ajim.20582>
- Nonnenmann, M.W., D.C. Anton, F. Gerr & H.J. Yack, 2010. Dairy farm worker exposure to awkward knee posture during milking and feeding tasks. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 7 (8): 483-489. <https://doi.org/10.1080/15459624.2010.487036>
- Oyama S., A. Sosa, R. Campbell, C. Ortega & D.I. Douphrate, 2017. Evaluation of upper body kinematics and muscle activity during milking attachment task. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 61: 101-106. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2017.05.012>

- Öz, E. & M. Jakob, 2020. Ergonomic evaluation of simulated apple hand harvesting using 3D motion analysis. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 57 (2): 249-255. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.650787>
- Perkiö-Mäkelä, M. & H. Hentilä, 2005. Physical work strain of dairy farming in loose housing barns. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35 (1): 57-65. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2004.08.004>
- Pinzke, S., 2003. Changes in working conditions and health among dairy farmers in southern Sweden. A 14-year follow-up. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 10 (2):185-195.
- Pinzke, S., M. Stål & G.Hansson, 2001. Physical workload on upper extremities in various operations during machine milking. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 8 (1): 63-70.
- SIMI, 1993. SIMI MotionCapture 3D Manual. (Eds. M. Körner, W. Pagani & T. Seeholzer). SIMI GmbH, Germany, 77 pp.
- Stål, M., G.-A. Hansson & U. Moritz, 1999. Wrist positions and movements as possible risk factors during machine milking. *Applied Ergonomics*, 30 (6): 527-533. [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(99\)00015-0](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(99)00015-0)
- Stål, M., G.-A. Hansson & U. Moritz, 2000. Upper extremity muscular load during machine milking. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 26 (1): 9-17. [https://doi.org/10.1016/S0169-8141\(99\)00059-1](https://doi.org/10.1016/S0169-8141(99)00059-1)
- Stål, M., S. Pinzke, G.A. Hansson & C. Kolstrup, 2003. Highly repetitive work operations in a modern milking system. A case study of wrist positions and movements in a rotary system. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 10 (1): 67-72.
- Stål, M., U. Moritz, B. Gustafsson & B. Johnsson, 1996. Milking is a high-risk job for young females. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 28 (2): 95-104.
- TUİK, 2023a. Büyükbaş ve küçükbaş hayvanı olan işletmelerin işletme büyüklüğüne göre işletme ve hayvan varlığı dağılımı. (Web sayfası: <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111&dil=1>) (Erişim tarihi: Aralık 2023).
- TUİK, 2023b. Tarımsal alet ve makine sayısı. (Web sayfası: <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111&dil=1>) (Erişim tarihi: Aralık 2023).
- Tuure V-M. & S. Alasutari, 2009. Reducing work load in neck-shoulder region in parlor milking. *Bornimer Agrartechnische Berichte*, Heft 66: 48-54.
- Ulbricht, L., E.F.R. Romaneli, A.M.W. Stadnik, M. Maldaner & E.B. Neves, 2014. "Prevalence of work-related musculoskeletal disorders (WMSD) symptoms among milkers in the State of Paraná, Brazil, 57-61". In: *Occupational Safety and Hygiene II. 1st Edition* (Eds. P. Arezes, J.S. Baptista, M.P. Barroso, P. Carneiro, P. Cordeiro, N. Costa, R.B. Melo, A.S. Miguel & G. Perestrelo), Portugal, 818 pp.
- Ulmer H.V., W. Knieriemmen, T. Warlo & B. Zech, 1989. Interindividual variability of isometric endurance with regard to the endurance performance limit for static work. *Biomed Biochim Acta*, 48 (5-6): 504-508.
- Üçer, E., 2008. Örnek Süt Sığırcılığı İşletmelerindeki Süt Sağım Mekanizasyonunda İşgücü Gereksinimleri Ve Maliyetlerin Belirlenmesi. Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Aydın, 60 s.
- van der Beek, A. & M. Frings-Dresen, 1998. Assessment of mechanical exposure in ergonomic epidemiology. *Occupational and Environmental Medicine*, 55 (5): 291-299. <https://doi.org/10.1136/oem.55.5.291>
- Winkel, J. & S. Mathiassen, 1994. Assessment of physical work load in epidemiologic studies: concepts issues and operational considerations. *Ergonomics*, 37 (6): 979-988. <https://doi.org/10.1080/00140139408963711>



Araştırma Makalesi (Research Article)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2024, 61 (2):249-258
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1412233>

Onur KAYAN^{1*}

Ecmel ERLAT²

¹ Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Çevre Bilimleri Ana Bilim Dalı, 35100, İzmir,
Türkiye

² Ege Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi,
Coğrafya Bölümü, 35100, İzmir, Türkiye

* Sorumlu yazar (Corresponding author):
onur.kayan01@gmail.com

Ege Bölgesi'nde Standardize Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) ile kuraklık değerlendirmesi (1951-2022)*

Evaluation of drought with Standardized Precipitation
Evapotranspiration Index (SPEI) in the Aegean Region
(1951-2022)

* Bu makale 1. Yazarın yüksek lisans tezinden özetlenmiştir.

Alınış (Received):30.12.2023

Kabul Tarihi (Accepted):13.05.2024

ÖZ

Amaç: İklim değişikliğine bağlı olarak yükselen sıcaklık, artan buharlaşma koşulları ve bazı bölgelerde gözlemlenen yağışlardaki azalma eğilimi kuraklık olaylarının frekansını, şiddetini, süresini ve alansal dağılışını etkilemektedir. Bu çalışmanın amacı, tarımsal verimliliği yüksek olan Ege Bölgesi'nin kuraklık koşullarının zamansal değişimini Standardize Yağış ve Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) yöntemiyle değerlendirmektir.

Materyal ve Yöntem: Ege Bölgesi'ni kapsayan 8 grid hücrenin 1951- 2022 dönemine ait SPEI verileri kullanılmıştır. Ege Bölgesi'ndeki meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklıkların zamansal değişimini belirlemek için 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeğine ait SPEI değerleri incelenmiştir. Aylık SPEI değerinin -1'e eşit veya daha düşük olduğu dönem kuraklık olarak tanımlanmıştır.

Araştırma Bulgular: Zaman serileri Ege Bölgesi'nde kuraklık olaylarının 1980'li yılların ortalarından itibaren arttığını ve daha kurak koşullara doğru kaydığını göstermektedir. SPEI-3-6 ve 12 zaman ölçeğinde ortak olarak bölgede 2001, 2007, 2008, 2016 ve 2021 yıllarının belirgin şekilde kurak yıllar olarak öne çıktığı görülmüştür.

Sonuç: Bölgede daha kurak koşullara doğru kayma eğilimi başta toprakta depolanan nem miktarı ve yerüstü/yer altı su kaynaklarında önemli değişimlere neden olacaktır. Bu durum tarımsal verim ve üretimi doğrudan etkileyecektir. Kuraklaşma eğilimi bölgesel ekonomiyi olumsuz etkilerken özellikle kırsal bölgelerdeki gelir düzeyinde ciddi azalmalar yaşanacağı söylenebilir.

ABSTRACT

Objective: Rising temperatures due to climate change, increasing evaporation conditions and the decreasing trend in precipitation observed in some regions affect the frequency, severity, duration and spatial distribution of drought events. The aim of this study is to evaluate the temporal change of drought conditions in the Aegean Region, which has high agricultural efficiency, with the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) method.

Material and Methods: SPEI data for the period 1951-2022 of 8 grid cells covering the Aegean Region were used. SPEI values of 3, 6 and 12 months time scales were examined to determine the temporal changes of meteorological, agricultural and hydrological droughts in the Aegean Region. A period in which the monthly SPEI value was equal to or lower than -1 was defined as drought.

Results: Time series show that drought events in the Aegean Region have increased since the mid-1980s and have shifted towards drier conditions. It has been observed that the years 2001, 2007, 2008, 2016, and 2021 stand out as significantly dry years in the region on the SPEI-3-6 and 12 time scales.

Conclusion: The tendency to shift towards drier conditions in the region will cause significant changes in the amount of moisture stored in the soil and surface/underground water resources. This situation will directly affect agricultural efficiency and production. While the aridification trend negatively affects the regional economy, it can be said that there will be serious decreases in the income level, especially in rural regions.

Anahtar sözcükler: Evapotranspirasyon, iklim değişikliği, kuraklık indisleri, kuraklık şiddeti, zaman dizisi analizi

Keywords: Evapotranspiration, climate change, drought indices, drought severity, time-series analysis

GİRİŞ

Kuraklık, hemen hemen tüm iklim bölgelerinde doğal olarak oluşan ve çoğunlukla bir mevsim veya bir yıl gibi geçici bir süre boyunca alınan yağış miktarındaki azalmayla ilişkili olarak ortaya çıkan iklim olaylarından biridir. Evrensel olarak kabul edilmiş bir kuraklık tanımı bulunmamakla birlikte kuraklığa ilişkin farklı tanımlamaların “yağış eksikliği”, “uzun bir süre devam etmesi” ve “olumsuz etkilerin ortaya çıkması” noktalarında birleştikleri görülmektedir (Mishra & Singh, 2010). Yüksek hava sıcaklıkları, kuvvetli rüzgârlar, düşük bağıl nem ve yağışların zamanlamasında gözlenen değişimler oluşan kuraklıkların şiddet, süre ve alansal dağılışı üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır.

Kuraklık olayları meteorolojik, tarımsal, hidrolojik ve sosyo-ekonomik olmak üzere dört temel yaklaşıma göre sınıflandırılmaktadır (Wilhite & Glantz, 1985). İlk üç yaklaşım kuraklığı fiziksel bir olay olarak ölçerken sonuncu yaklaşım kuraklığı suya olan arz ve talep açısından değerlendirmektedir. Bir bölgede belirli bir dönemde yağışların, uzun yıllar ortalamasının altına düşmesi meteorolojik kuraklık olarak tanımlanmaktadır. Tarımsal kuraklık, toprak neminin büyük ölçüde azalması sonucu bitkilerin büyüme gelişebilmeleri için ihtiyaç duydukları en düşük su kapasitesine ulaşamadıkları koşullarda ortaya çıkmaktadır (Wingley & Atkinson, 1977). Hidrolojik kuraklık, yağış açığına bağlı olarak yer altı ve yerüstü sularında görülen azalmadır. Sosyo-ekonomik kuraklık ise diğer kuraklık çeşitlerinin bir sonucu olarak iklim koşullarından kaynaklanan su arzındaki eksiklik nedeniyle ekonomik bir mala olan talebin arzı aşması durumunda ortaya çıkmaktadır (Wilhite & Glantz, 1985).

Kuraklıklar süresi, şiddeti ve etkili olduğu alana bağlı olarak çevresel, sosyal ve ekonomik olarak yıkıcı etkiler oluşturabilmektedir. Kuraklıkların çevresel etkilerine örnek olarak orman ağaçlarında büyüme oranının azalması hatta ölüm olaylarını tetiklemesi, toprağın karbon depolamasında azalma ve toprak yapısının bozulması gösterilebilir (Robinson et al., 2016). Kuraklığın sosyal ve ekonomik etkileri ise istihdamdaki düşüşler ve iş kayıpları veya rekreasyon faaliyetlerinin askıya alınması gibi dolaylı etkilere bağlı olarak ortaya çıkabilmektedir (Freire-González et al., 2017).

Kuraklık doğal olarak meydana gelmesine rağmen insan kaynaklı iklim değişikliği genel olarak hidrolojik süreçleri hızlandırarak kuraklık olaylarının daha hızlı başlamasına ve daha şiddetli hale gelmesine yol açmıştır. Gözlemler Güney Amerika'nın büyük bir kısmında, Amerika Birleşik Devletleri'nin Ortabatısında ve Doğu Avrupa'dan Doğu Asya'ya uzanan bir kuşakta kurak koşulların daha sık ve şiddetli yaşandığını göstermektedir. Akdeniz bölgesi de küresel ortalamaya göre daha hızlı ısınma eğilimi ve azalan yağış miktarı ile kuraklaşma eğiliminin yüksek olduğu alanlardan biridir (Lionello & Scarascia, 2018; Chiang et al., 2021). Yapılan çalışmalar Akdeniz havzasında yer alan Türkiye'nin büyük bir bölümünün yarı kurak iklim koşullarının etkisi altında olduğunu ve küresel ölçekte daha kurak koşullara doğru kayma eğiliminde olduğunu göstermektedir (Dabanlı et al., 2017; Topçu, 2022; Jamal et al., 2022). Örneğin Türkiye'de 250 meteoroloji istasyonunun verileri 12 aylık Standardize Yağış İndisine göre incelendiğinde, 1931-2010 döneminde ekstrem, şiddetli ve orta şiddetteki kuraklıkların Trakya ve Ege Bölgesi'nde 1990'lı yılların ilk yarısında gözlemlendiği belirtilmiştir (Dabanlı et al., 2017).

Ege Bölgesi Türkiye'nin kuraklaşma eğiliminin gözlemlendiği bölgelerimizin başında gelmektedir. Örneğin Ege Bölgesi'nde 1971-2001 dönemine ait 14 gözlem istasyonunun yağış verilerinden yararlanılarak yapılan çalışmada, Standardize Yağış İndisi sonucuna göre kuraklık analizinde özellikle Temmuz ve Ağustos aylarında istasyon bazında normal seviyenin üzerinde kuraklık yaşandığı belirlenmiştir (Pamuk vd., 2004). Yukarı Gediz Havzası'nda yer alan 6 meteoroloji istasyonunun 1960-2017 yılları arasındaki aylık, mevsimlik ve yıllık yağışları Standardize Yağış İndisine göre değerlendirildiğinde mevsimsel kuraklıklarda Aralık ayı yağışlarının belirleyici olduğu, kuraklığın en sık kış mevsiminde görüldüğü ve bu mevsimin yağışlarında azalmaya bağlı olarak 1972, 1992 ve 2008 yıllarında çok şiddetli kuraklıkların yaşandığı belirlenmiştir. Yukarı Gediz Havzası'nda 1984 ve öncesi yıllarda nemli dönemlerin daha hakim olduğu fakat bu tarihten

sonra kuraklıkların daha sık, daha şiddetli ve daha uzun süreli gerçekleştiği sonucuna ulaşılmıştır (Kumanlioglu & Fıstıkoğlu, 2019). Küçük Menderes havzasında 5 meteoroloji istasyonunun verilerine göre 1960-1985 döneminde havzada kuraklığın şiddetinin arttığı, sıklığının ise zamanla azaldığı saptanmıştır. 3 aylık SPEI değerlerine göre en uzun kurak dönem 28 ay ile 2016-2018 döneminde, 6 aylık SPEI değerlerine göre 30 ay süre ile 2016-2018 döneminde, 12 aylık SPEI değerlerine göre 40 ay ile 1991-1994 döneminde gözlenmiştir (Eriş et al., 2020). Ege Bölgesi'nde bulunan 29 meteoroloji istasyonunun 1975-2014 yılları arasındaki 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde SPEI değerleri incelendiğinde, bölgede kısa zaman ölçeğinde 2007 yılı, uzun zaman ölçeğinde 2008 yılı çok şiddetli kurak yıllar olarak belirlenmiştir. Ege Bölgesi'nde uzun zaman ölçeğinde 1985-1995 yılları arasındaki 10 yıllık dönem sürekli ardıl orta dereceli ve şiddetli, 2007-2009 yılları arası ise çok şiddetli kurak bir dönem olarak saptanmıştır. 2011 yılından sonra ise şiddeti düşük kurak dönemlerin ardıl olarak gerçekleştiği belirlenmiştir (Özçelik & Akkuzu, 2023).

Bu çalışmada meteoroloji istasyonu gözlemleri yerine gridli veri kullanılarak Ege Bölgesi'nde uzun döneme ait 3-6-12 aylık zaman ölçeklerinde kuraklık koşullarının zamansal değişimi Standardize Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) yöntemiyle değerlendirilmiştir.

MATERYAL ve YÖNTEM

Materyal

Bu çalışmada Ege Bölgesi'ni (36°16'-39°54' Kuzey enlemleri ile 26°12'-31°44' Doğu boylamları arasında) kapsayan 8 grid hücresinin 1951-2022 dönemine ait SPEI verileri kullanılmıştır (Çizelge 1). Küresel SPEI veritabanı SPEIbase, 0.5 derecelik uzaysal çözünürlük ve aylık zaman çözünürlüğü ile küresel ölçekte kuraklık koşulları hakkında uzun süreli veri sunmaktadır (SPEI Global Drought Monitor, 2023).

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan grid hücreleri ve coğrafi koordinatları

Table 1. Grid cells and geographical coordinates used in the study

Sıra	İstasyon	İstasyon Enlemi	İstasyon Boylamı	Kullanılan Grid Enlemi	Kullanılan Grid Boylamı
1	İzmir	38.39	27.08	38.25	27.25
2	Aydın	37.84	27.84	37.25	27.25
3	Manisa	38.62	27.40	38.75	27.25
4	Muğla	37.21	28.37	37.25	28.25
5	Denizli	37.76	29.09	37.75	28.75
6	Uşak	38.67	29.40	38.75	29.25
7	Kütahya	39.42	29.99	39.75	29.75
8	Afyonkarahisar	38.74	30.55	38.75	30.25

Yöntem

Kurak dönemleri şiddet, süre ve coğrafi kapsam açısından nesnel bir şekilde ölçmek oldukça zordur. Bu nedenle kuraklığın izlenmesi ve analizi, çeşitli gösterge ve indisler sayesinde yapılmaktadır (WMO, 2016). Literatürde en sık kullanılan kuraklık indisleri arasında Standardize Yağış İndisi (SPI), Standardize Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI), Eriş Kuraklık İndisi (Im), Palmer Kuraklık Şiddet İndisi (PDSI) gelmektedir (Mishra & Singh, 2010; Türkeş & Tatlı, 2010). Bunlardan SPEI, Vicente-Serrano et al., (2010) tarafından geliştirilmiş, SPI indisinin değiştirilmiş halidir. SPEI'nin hesaplama yöntemi SPI ile oldukça benzer olmakla birlikte, farklı olarak yağışın yanında hava sıcaklığı parametresinin kullanılması ve bitki örtüsünün terleme-buharlaştırma dengesinin de hesaba katılmasıdır.

Ege Bölgesi'ndeki kuraklıkların zamansal dağılımının belirlenmesinde sıcaklık ve potansiyel evapotranspirasyon değerlerini de dikkate alan Standardize Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) yararlanılmıştır. SPEI Küresel Kuraklık Monitörü veri seti SPEI hesaplamasında East Anglia Üniversitesi

İklim Araştırma Birimi'nden alınan aylık yağış ve potansiyel buharlaşma-terleme verileri kullanılmakta ve potansiyel evapotranspirasyon (PET) tahmin etmek için Thornthwaite denklemini temel almaktadır (SPEI Global Drought Monitor, 2023).

Çalışmada Ege Bölgesi'ndeki meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklıkların zamansal değişimini belirlemek için 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeğine (SPEI-3, SPEI-6 ve SPEI-12) ait SPEI değerleri incelenmiştir. Kuraklık, aylık SPEI değerinin -1'e eşit veya daha düşük olduğu dönem olarak tanımlanmıştır. SPEI göre nemlilik/kuraklık sınıflandırılması ve indis değerleri Çizelge 2'de yer almaktadır.

Çizelge 2. Standardize Yağış-Evapotranspirasyon İndisinde indis değerleri ve indis değerlerinin olasılıklarının sınıflandırması (Vicente-Serrano et al., 2010)

Table 2. Classification of index values and probabilities of index values in the Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (Vicente-Serrano et al., 2010)

Sınıflandırma	SPEI indis değerleri	Olasılık
Ekstrem nemli	≥ 2.0	0.02
Çok nemli	1.50 to 1.99	0.06
Orta nemli	1.49 to 1.00	0.10
Normal	0.99 to -0.99	0.65
Orta kurak	-1.00 to -1.49	0.10
Şiddetli kurak	-1.50 to -1.99	0.06
Ekstrem kurak	≤ 2.00	0.02

ARAŞTIRMA BULGULARI veTARTIŞMA

3 aylık SPEI İndis Değerlendirmesi

Ege Bölgesi'ni kapsayan 8 grid verisinin ortalamasına göre 3 aylık SPEI indis değerlerinde 1951-2022 yılları arasındaki 72 yıllık sürede %91.3 normal ve %8.7 oranında orta kurak koşullar egemen olmuştur.

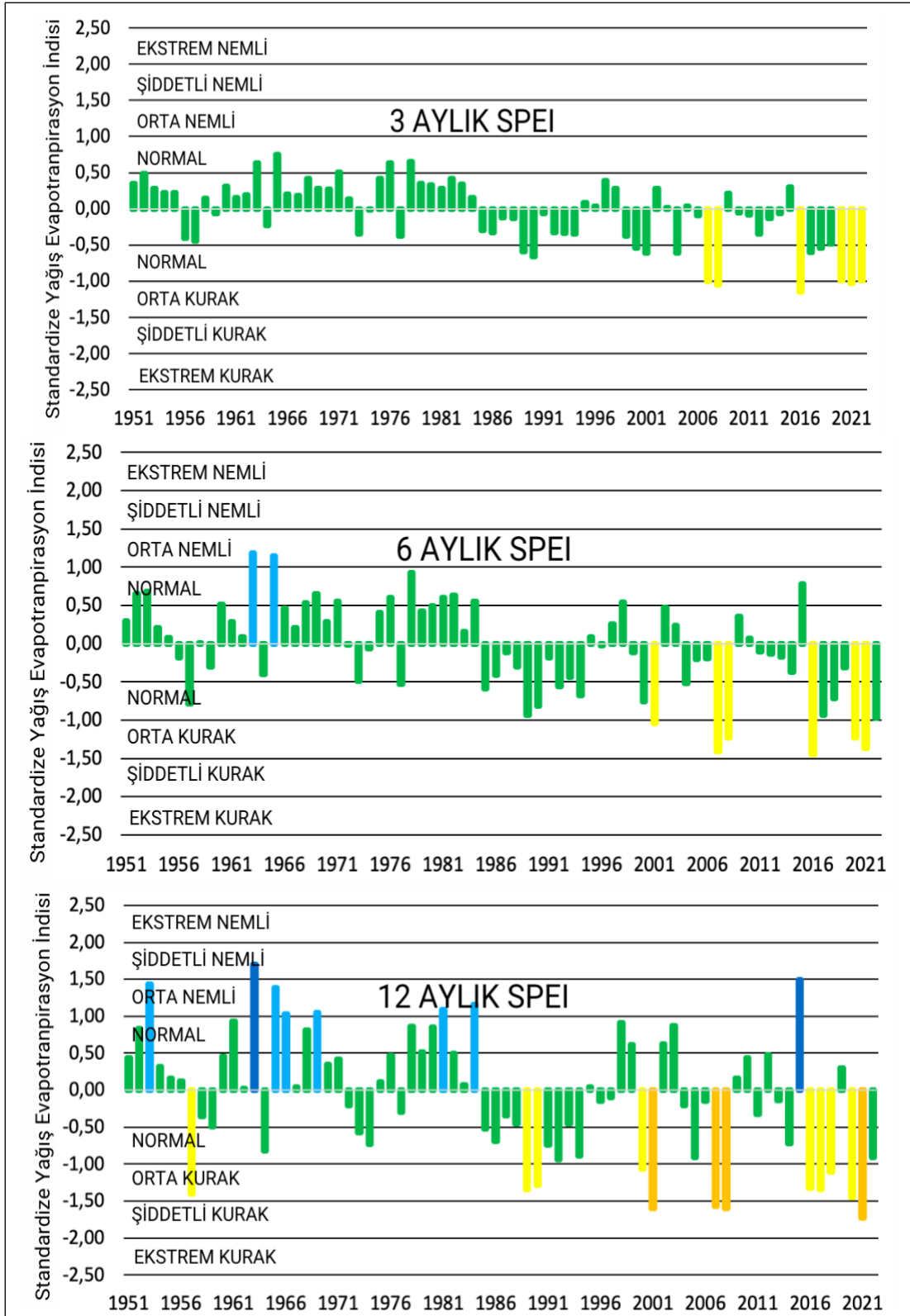
Ege Bölgesi'ne ait 3 aylık SPEI grafiği incelendiğinde, SPEI değerlerinin 1985 yılına kadar pozitif anomali gösterdiği göze çarpmaktadır. 1985 yılından itibaren ise negatif anomali değerlerinin ağırlık kazandığı görülmektedir. 3 aylık SPEI indis değerlerine göre 2000'li yıllardan itibaren meteorolojik kuraklıklar daha sık gözlenmeye başlamış ve kuraklığın şiddeti artmıştır. Nitekim 1951 yılından bu yana orta şiddette kurak yıllar 2007, 2008, 2016, 2020, 2021 ve 2022 yıllarında gözlenmiştir (Çizelge 3 & Şekil 1).

1-3 aylık zaman ölçeklerinde hesaplanan SPEI değerlendirmeleri meteorolojik kuraklığı tanımlamada yardımcı bir gösterge olduğundan, Çizelge 3'de belirtilen yıllarda azalan yağış/ yükselen sıcaklık ve artan buharlaşma koşullarına bağlı olarak meteorolojik kuraklık yaşandığı söylenebilir.

Çizelge 3. Ege Bölgesi'ndeki 8 grid hücresi ortalamasına göre 1951-2022 dönemi 3 aylık SPEI verileri ($-1 \leq$)

Table 3. 3-month SPEI data for the period 1951-2022 according to the average of 8 grid cells in the Aegean Region ($-1 \leq$)

SIRA	YIL	SPEI-3	İNDEKS SINIFI
1	2007	-1,00	ORTA KURAK
2	2008	-1,04	ORTA KURAK
3	2016	-1,14	ORTA KURAK
4	2020	-1,00	ORTA KURAK
5	2021	-1,03	ORTA KURAK
6	2022	-1,00	ORTA KURAK



Şekil 1. Ege Bölgesi'ni kapsayan 8 grid verisi ortalamasına göre 1951-2022 dönemi SPEI-3, SPEI-6, SPEI-12 zaman serisi.

Figure 1. SPEI-3, SPEI-6, SPEI-12 time series for the period 1951-2022, based on the average of 8 grid data covering the Aegean Region.

Ege Bölgesi'nde kıyı kuşağında kuraklık şiddetinin daha fazla olduğu, bölgenin iç kısımlarına doğru kuraklık şiddetinin azaldığı görülmektedir. İzmir, Manisa ve Aydın'ın yer aldığı grid hücrelerinde orta kurak indis sınıfına dâhil koşulların oranı %7-8 iken bu değer Afyonkarahisar'ın yer aldığı grid hücresinde %3'ün altına düşmektedir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Ege Bölgesi'ndeki 8 grid hücresinin 1951-2022 dönemi 3 aylık SPEI kuraklık frekansı (%)

Table 4. 3-month SPEI drought frequency of 8 grid cells in the Aegean Region for the period 1951-2022

Sıra	Grid Hücresi	Enlem	Boylam	Orta Kurak %	Şiddetli Kurak %	Aşırı Kurak %
1	İzmir	38.39	27.08	8.7	0.0	0.0
2	Aydın	37.84	27.84	7.2	1.4	0.0
3	Manisa	38.62	27.40	8.7	0.0	0.0
4	Muğla	37.21	28.37	5.8	0.0	0.0
5	Denizli	37.76	29.09	4.3	0.0	0.0
6	Uşak	38.67	29.40	4.3	0.0	0.0
7	Kütahya	39.42	29.99	0.0	0.0	0.0
8	Afyonkarahisar	38.74	30.55	2.9	0.0	0.0

6 aylık SPEI İndis Değerlendirmesi

Ege Bölgesi'ni kapsayan 8 grid verisinin ortalamasına göre 6 aylık SPEI indis değerlerinde 1951-2022 yılları arasındaki 72 yıllık sürenin %87,0 normal, %4,3 orta nemli ve %8,7 oranında orta kurak indis sınıfı içinde kaldığı görülmektedir. Ege Bölgesi'ne ait 6 aylık SPEI grafiği incelendiğinde, SPEI değerlerinin 3 aylık SPEI grafiğinde olduğu gibi 1985 yılına kadar pozitif anomali gösterdiği göze çarpmaktadır. 1985 yılından itibaren ise negatif anomali değerlerinin ağırlık kazandığı görülmektedir. SPEI indis değerlerinin 2001, 2007, 2008, 2016, 2020 ve 2021 yıllarında orta kurak seviyelerine ulaştığı görülmektedir (Şekil 1 & Çizelge 5). 3-6 aylık zaman ölçeklerinde hesaplanan SPEI değerlendirmeleri tarımsal kuraklığı tanımlamada yardımcı bir gösterge olduğundan, Çizelge 5 de belirtilen yıllarda azalan yağış/ yükselen sıcaklık ve artan buharlaşma koşullarına bağlı olarak tarımsal kuraklık yaşandığı söylenebilir.

Çizelge 5. Ege Bölgesi'ndeki 8 grid hücresi ortalamasına göre 1951-2022 dönemi (-1≤) 6 aylık SPEI verileri

Table 5. 6-month SPEI data for the period 1951-2022 according to the average of 8 grid cells in the Aegean Region (-1≤)

SIRA	YIL	SPEI-6	İNDEKS SINIFI
1	2001	-1,04	ORTA KURAK
2	2007	-1,41	ORTA KURAK
3	2008	-1,23	ORTA KURAK
4	2016	-1,44	ORTA KURAK
5	2020	-1,23	ORTA KURAK
6	2021	-1,37	ORTA KURAK

İzmir, Manisa ve Aydın'ın yer aldığı grid hücrelerinde şiddetli kurak indis sınıfına dahil koşulların oranı %4-5 iken bu değer diğer grid hücrelerinde %3'ün altına düşmektedir (Çizelge 6).

Çizelge 6. Ege Bölgesi'ndeki 8 grid hücresinin 1951-2022 dönemi 6 aylık SPEI kuraklık frekansı (%)

Table 6. 6-month SPEI drought frequency of 8 grid cells in the Aegean Region for the period 1951-2022

Sıra	Grid Hücresi	Enlem	Boylam	Orta Kurak	Şiddetli Kurak %	Aşırı Kurak %
1	İzmir	38.39	27.08	7,2	5,8	0,0
2	Aydın	37.84	27.84	11,6	4,3	0,0
3	Manisa	38.62	27.40	7,2	5,8	0,0
4	Muğla	37.21	28.37	8,7	1,4	0,0
5	Denizli	37.76	29.09	10,1	1,4	0,0
6	Uşak	38.67	29.40	10,1	1,4	0,0
7	Kütahya	39.42	29.99	10,1	0,0	0,0
8	Afyonkarahisar	38.74	30.55	5,8	2,9	0,0

12 aylık SPEI İndis Değerlendirmesi

Ege Bölgesi'ni kapsayan 8 grid verisine göre 12 aylık SPEI indis değerlerinde 1951-2022 yılları arasındaki 72 yıllık sürenin 71,0 normal, %2,9 çok nemli, %8,7 orta nemli, %11,6 orta kurak, %5,8 oranında şiddetli kurak indis sınıfı içinde kaldığı görülmektedir.

Ege Bölgesi'ne ait 12 aylık SPEI grafiği incelendiğinde, SPEI değerlerinin 3-6 aylık SPEI grafiklerinde olduğu gibi 1985 yılına kadar pozitif anomali gösterdiği göze çarpmaktadır. 1985 yılından itibaren ise negatif anomali değerlerinin ağırlık kazandığı görülmektedir. SPEI indis değerlerinin 1957, 1989, 1990, 2000, 2016, 2017, 2018, 2020 yıllarında orta kurak seviyelerine ve 2001, 2007, 2008, 2021 yıllarında şiddetli kurak seviyelerine ulaştığı görülmektedir (Şekil 1 & Çizelge 7). 12 aylık ve daha uzun zaman ölçeklerinde hesaplanan SPEI değerlendirmeleri hidrolojik kuraklığı tanımlamada yardımcı bir göstergedir. 12 aylık SPEI verileri Ege Bölgesi'nde 1980'li yılların sonlarından itibaren azalan yağış/ yükselen hava sıcaklık ve artan buharlaşma koşullarına bağlı olarak daha sık ve şiddetli hidrolojik kuraklıkların yaşandığı göstermektedir.

Çizelge 7. Ege Bölgesi'ndeki 8 grid hücresi ortalamasına göre 1951-2022 dönemi (-1≤) 12 aylık SPEI verileri

Table 7. 12-month SPEI data for the period 1951-2022 according to the average of 8 grid cells in the Aegean Region (-1≤)

SIRA	YIL	SPEI-12	İNDEKS SINIFI
1	1957	-1,40	ORTA KURAK
2	1989	-1,34	ORTA KURAK
3	1990	-1,28	ORTA KURAK
4	2000	-1,07	ORTA KURAK
5	2001	-1,60	ŞİDDETLİ KURAK
6	2007	-1,57	ŞİDDETLİ KURAK
7	2008	-1,60	ŞİDDETLİ KURAK
8	2016	-1,33	ORTA KURAK
9	2017	-1,34	ORTA KURAK
10	2018	-1,11	ORTA KURAK
11	2020	-1,45	ORTA KURAK
12	2021	-1,73	ŞİDDETLİ KURAK

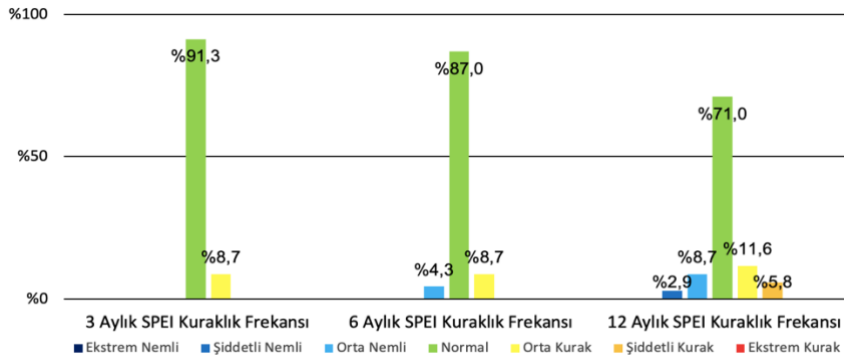
İzmir, Manisa, Aydın ve Uşak'ın yer aldığı grid hücrelerinde Şiddetli kurak indis sınıfına dâhil koşulların oranı %13-8 iken bu değer diğer grid hücrelerinde %7 in altına düşmektedir (Çizelge 8).

Çizelge 8. Ege Bölgesi'ndeki 8 grid hücresinin 1951-2022 dönemi 12 aylık SPEI kuraklık frekansı

Table 8. 12-month SPEI drought frequency of 8 grid cells in the Aegean Region for the period 1951-2022

Sıra	Grid Hücresi	Enlem	Boylam	Orta Kurak %	Şiddetli Kurak %	Aşırı Kurak %
1	İzmir	38.394873	27.081854	15,9	8,7	1,4
2	Aydın	37.840239	27.837905	11,6	13,0	0,0
3	Manisa	38.615329	27.404940	15,9	8,7	1,4
4	Muğla	37.209486	28.366834	18,8	5,8	0,0
5	Denizli	37.762027	29.092075	13,0	7,2	0,0
6	Uşak	38.671233	29.404040	7,2	8,7	1,4
7	Kütahya	39.417085	29.988148	11,6	7,2	0,0
8	Afyonkarahisar	38.737904	30.554277	14,5	2,9	1,4

Ege Bölgesi'ndeki 8 grid hücresinin ortalamasına göre 1951-2022 yılları arasındaki 3-6 ve 12 aylık SPEI verileri değerlendirildiğinde, 3 ve 6 aylık dönemde % 8.7 ile sadece orta şiddette kuraklıkların gözlemlendiği görülmektedir. Bu durum Ege Bölgesi'nde meteorolojik ve tarımsal kuraklıkların oranının son 72 yıl içinde %10'un altında kaldığını ortaya koymaktadır. Buna karşılık hidrolojik kuraklıkların göstergesi olan 12 aylık SPEI değerleri incelendiğinde, son 72 yılda orta şiddetteki kuraklıkların oranının % 11.6'ya yükseldiği ve % 5.8 oranında ise şiddetli kuraklıkların gözlemlendiği ortaya çıkmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Ege Bölgesi'ni kapsayan 8 grid verisinin ortalamasına göre 1951-2022 dönemi SPEI kuraklık frekansı.

Figure 2. SPEI drought frequency for the period 1951-2022 according to the average of 8 grid data covering the Aegean Region.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Çalışmada 1951-2022 yılları arasında gridli veri kullanılarak Ege Bölgesi'nde SPEI değerlerinin 3 aylık (SPEI-3), 6 aylık (SPEI-6) ve 12 aylık (SPEI-12) zaman ölçeklerinde oluşturulan zaman serileri ile kuraklık olaylarının zamansal dağılımı ve şiddeti değerlendirilmiştir.

8 gridin ortalamasına göre oluşturulan zaman serileri Ege Bölgesi'nde yıllık olarak kuraklık olaylarının 1980'li yılların ortalarından itibaren arttığını ve daha kurak koşullara doğru kaydığını göstermektedir. SPEI-3-6 ve 12 zaman ölçeğinde ortak olarak bölgede 2001, 2007, 2008, 2016 ve 2021 yıllarının belirgin şekilde gerek zaman serileri üzerinde gerekse kuraklık sınıflarına göre orta ve/veya şiddetli kurak yıllar olarak öne çıktığı görülmüştür. Standartlaştırılmış Yağış İndisi veya normalleştirilmiş yıllık yağış ve kuraklık indisleri gibi farklı yöntemlere göre yapılan çalışmaların sonuçları da Ege Bölgesi'nde yıllık olarak 1980 sonrasında kurak dönemlerin nispeten şiddetinin arttığını, özellikle 2007-2008 sonrası daha şiddetli ve uzun kuraklık olaylarının yaşandığını ortaya koymaktadır (Türkeş, 2011; Kumanlioglu & Fıstıkoğlu, 2019; Özçelik & Akkuzu 2023). Örneğin hem uydu hem de 23 adet meteoroloji istasyonunun verileriyle 1980-2018 yılları aralığında yapılan bir çalışma, Ege Bölgesi'nde 1989-1990 yıllarının en şiddetli kurak yıllar olarak öne çıktığını, 2000-2001 ve 2007-2008 yıllarının orta/şiddetli kurak, 2016 yılının da şiddetli kurak sınırına yakın bir orta/şiddetli kurak yıl olduğunu göstermiştir (Kocaaslan Karamzadeh, 2022). Bölgedeki daha kurak koşullara doğru kayma eğilimi, yıllık yağış miktarındaki azalma eğiliminden çok, yükselen sıcaklık ve buna bağlı şiddetlenen evapotranspirasyon değerleri ile ilişkili gözükmektedir. Nitekim Ege Bölgesi'nde incelenen 14 meteoroloji istasyonunun verilerine göre 1973-2020 döneminde tüm istasyonlarda yıllık ortalama sıcaklığın 0.20-0.35°C/on yıl aralığında arttığı, istasyonlarda yıllık sıcaklıklarda ani değişimin 2007 yılında gerçekleştiği belirlenmiştir. Buna karşılık istasyonların yıllık toplam yağış değerlerinde 4.2-7.9 mm/yıl artış, büyük bölümünde ise istatistiki olarak anlamlı artış veya azalış eğilimi belirlenmemiştir (Mersin vd., 2022).

Ege Bölgesinde kuraklık şiddetinin alansal dağılışında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Özellikle bölgenin batısında yer alan ve tipik Akdeniz makroklima bölgesinin özelliklerini yansıtan alanda bölgenin doğusuna göre kuraklık olaylarının daha şiddetli yaşandığı görülmektedir. Örneğin son 72 yılda 3, 6 ve 12 aylık SPEI indis değerlendirmesine göre, Aydın, İzmir ve Manisa'yı kapsayan grid hücrelerinde orta kuraklık seviyelerinin diğer gridlere göre frekansı daha yüksektir.

8 grid hücresinin ortalamasına göre 1950 yılından bu yana Ege Bölgesi'nde gözlenen en şiddetli kuraklık olayı 3 ve 6 aylık SPEI zaman ölçeklerinde 2016 yılına aittir. 12 aylık SPEI zaman ölçeğinde ise 2021 yılında -1.73 indis değeri ile bölgede "şiddetli kurak" koşullar egemen olmuştur. Türkiye ortalamasına göre 1951-2022 döneminde en şiddetli ve uzun kuraklıkların SPEI 3, 6 ve 12 zaman ölçeklerinde 2020-2021 su yılına ait olduğu belirlenmiştir. SPEI-12 esas alındığında, 2020-2021 su yılında, Aralık 2020-Kasım 2021 tarihleri arasında birbirini izleyen 12 ay boyunca "şiddetli kurak" koşullar devam etmiş, aynı dönem içinde 4 ayda ise "ekstrem kurak" koşullar gözlenmiştir (Erlat & Güler, 2023).

BMÇSS tarafından önerilen Aridite İndisi (Kuraklık İndisi-Kİ) temel alındığında, günümüz koşullarında Ege Bölgesi'nde 11 istasyonun 7'sinin (% 63.6) çölleşmeye açık (0.79-0.65) olduğu görülmektedir (Türkeş, 2012). Ege Bölgesi'ne ilişkin oluşturulan iklim modellerinin sonuçları da bölgede insan kaynaklı iklim değişikliğine bağlı olarak kuraklıkların şiddetleneyeceğini ve süresinin uzayacağını göstermektedir (Çamalan vd., 2018). HadGEM2-ES modelinin RCP4.5 senaryosuna göre Ege Bölgesi'nde, 1971-2015 döneminde normal sınıfın "Hafif Nemli" bölümünde yoğunlaşan SPEI kuraklık şiddet frekans olasılıklarının, 2016-2040 döneminde "Hafif Kurak", 2041-2070 periyodunda ise "Orta Kurak" sınıfına doğru kayma eğilimi göstermesini öngörmektedir. Ayrıca bölgede yüzyılın sonundaki kuraklık süresinin ve şiddetinin doğrudan sıcaklık artışıyla ilişkili olacağını ortaya koymaktadır (Çamalan vd., 2018).

Bölgede 1980'li yılların ortalarından itibaren daha kurak koşullara doğru kayma eğiliminin gelecek de devam etmesi başta toprakta depolanan nem miktarı ve yerüstü/yer altı su kaynaklarında önemli değişimlere neden olacaktır. Bu durum tarımsal verim ve üretimi de doğrudan etkileyecektir. Kuraklaşma eğilimi bölgesel ekonomiyi olumsuz etkilerken özellikle kırsal bölgelerdeki gelir düzeyinde ciddi azalmalar yaşanacağı söylenebilir. Son 72 yıldaki kuraklık koşullarındaki değişim ve geleceğe yönelik öngörüler dikkate alınarak, Ege Bölgesi'nde ürün desenlerinin yeniden belirlenmesi, yeraltı ve yer üstü su kaynaklarının korunarak tarımda damlama sulama sistemine bir an önce geçilmesi sağlanmalıdır.

Veri Kullanılabilirliği

Veriler makul talep üzerine sağlanabilmektedir.

Yazar Katkıları

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

Çıkar Çatışması

Bu çalışmada yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Etik Beyan

Bu araştırma için etik kurula ihtiyaç olmadığını beyan ederiz.

Finansal Destek

Bu çalışmada finansal destek kullanılmamıştır.

Makale Açıklaması

Bu makale Konu Editörü Dr. İlkay ALKAN tarafından düzenlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Chiang, F., O. Mazdiyasi & A. AghaKouchak, 2021. Evidence of anthropogenic impacts on global drought frequency, duration, and intensity. *Nature Communications*, 12 (1): 2754. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22314-w>
- Çamalan, G., H. Ayvaci, S. Akgündüz, S. Çetin, H. Arabacı & M. Coşkun, 2018. "Ege Bölgesi kuraklık projeksiyonları, 2-4. Türkiye Ulusal Jeodezi Jeofizik Birliği Bilimsel Kongresi, Ankara, 4 s.
- Dabanlı, İ., A. K. Mishra & Z. Şen, 2017. Long-term spatio-temporal drought variability in Turkey. *Journal of Hydrology*, 552: 779-792. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.07.038>
- Eriş, E., Y. Çavuş, H. Aksoy, H. İ. Burgan, H. Aksu & H. Boyacıoğlu, 2020. Spatiotemporal analysis of meteorological drought over Kucuk Menderes River Basin in the Aegean Region of Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 142 (3-4): 1515-1530. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03384-0>

- Erlat, E. & H. Güler, 2023. Türkiye’de standardize yağış evapotranspirasyon indisine (SPEI) göre kuraklıkların zamansal değişimi (1951-2022). *Ege Coğrafya Dergisi*, 32 (Cumhuriyet’in 100. Yılı Özel Sayısı): 77-90. <https://doi.org/10.51800/ecd.1332424>
- Freire-González, J., C. Decker & J. W. Hall, 2017. The economic impacts of droughts: A framework for analysis. *Ecological Economics*, 132: 196-204.
- Jamal, R., S. J. Hadi & M. Tombul, 2022. The Trends of the Standardized Precipitation and Evapotranspiration Index (SPEI) in Turkey. *Geography and Natural Resources*, 43 (1): 87-95. <https://doi.org/10.1134/s1875372822010139>
- Kaeamzadeh Kocaaslan, S., 2022. Uzaktan Algılama Verileri Kullanılarak Kuraklık Olaylarının Alansal, Zamansal ve Frekans Analizleri: Ege Bölgesi Örneği. İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Uygulamaları Anabilim Dalı Coğrafi Bilgi Teknolojileri Doktora Programı, (Basılmamış) Doktora Tezi, 110 s.
- Kumanlioglu, A. & O. Fıstıkoğlu, 2019. Yukarı Gediz Havzası yağışlarının meteorolojik kuraklık analizleri. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 21 (62): 509-523. <https://doi.org/10.21205/deufmd.2019216216>
- Lionello, P. & L. Scarascia, 2018. The relation between climate change in the Mediterranean region and global warming. *Regional Environmental Change*, 18: 1481-1493. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1290-1>
- Mersin, D., G. Tayfur, B. Vaheddoost & M. J. S. Safari, 2022. Historical Trends Associated with Annual Temperature and Precipitation in Aegean Turkey, Where Are We Heading? *Sustainability* 14: 13380. <https://doi.org/10.3390/su142013380>
- Mishra, A. K. & V. P. Singh, 2010. A review of drought concepts. *Journal of hydrology*, 391 (1-2): 202-216. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>
- Özçelik, Ş. & E. Akkuzu, 2023. Ege Bölgesinde Standart Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) ile kuraklık değerlendirmesi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 60 (3): 515-528. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.1286331>
- Pamuk, G., M. Özgürel & K. Topçuoğlu, 2004. Standart yağış indeksi (SYI) ile Ege Bölgesinde kuraklık analizi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 41 (1) : 99-106.
- Robinson, D. A., S.B Jones, I. Lebron, S. Reinsch, M.T. Dominguez, A.R. Smith, D.L. Jones, M.R. Marshall & B.A Emmett, 2016. Experimental evidence for drought induced alternative stable states of soil moisture. *Science Report* 6, 20018. <https://doi.org/10.1038/srep20018>
- SPEI Global Drought Monitor, 2023. <https://spei.csic.es/map/maps.html#months=1#month=5#year=2023>
- Topçu, E., 2022. Appraisal of seasonal drought characteristics in Turkey during 1925-2016 with the standardized precipitation index and copula approach. *Natural Hazards*, 112: 697-723.
- Türkeş, M. & H. Tatlı, 2010. “Kuraklık ve yağış etkinliği indislerinin çölleşmenin belirlenmesi, nitelenmesi ve izlenmesindeki rolü, 245-263”. *Çölleşme ile Mücadele Sempozyumu (17-18 Haziran Çorum) Tebliğler Kitabı*, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı.
- Türkeş, M., 2011. Akhisar ve Manisa yörelerinin yağış ve kuraklık indisi dizilerindeki değişimlerin hidroklimatolojik ve zaman dizisi çözümlemesi ve sonuçların çölleşme açısından coğrafi bireşimi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 9 (1) : 79-99. https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000119
- Türkeş, M., 2012. Türkiye’de gözlenen ve öngörülen iklim değişikliği, kuraklık ve çölleşme. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4 (2): 1-32. https://doi.org/10.1501/Csaum_0000000063
- Vicente-Serrano, S. M., S. Beguería & J. I. López-Moreno, 2010. A Multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index SPEI. *Journal of Climate*, 23: 1696-1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- Vicente-Serrano, S.M., S. Beguería & J.I. López-Moreno, 2022. Spei global drought monitor. (Web sayfası: <https://spei.csic.es>) (Erişim tarihi: Mart 2023)
- Wigley, T.M.L. & T.C. Atkinson, 1977. Dry years in south-east England since 1698. *Nature*, 265: 431-434.
- Wilhite, D. A. & M. H. Glantz, 1985. Understanding of the drought phenomenon: the role and definition. *Water International*, 10 (3) : 111-120. <https://doi.org/10.1080/02508068508686328>
- World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP), 2016: Handbook of Drought Indicators and Indices (Eds. M. Svoboda & B.A. Fuchs). Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva, 52 pp.



Review Article
(Derleme Makale)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2024, 61 (2):259-271
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1382916>

Khotimatul BARKI ^{1*}

Malinda Aptika RACHMAH ²

¹ Diponegoro University, Faculty of Agriculture and Animal Science, Department of Agricultural Business, 50272, Semarang, Central Java, Indonesia

² Jendral Soedirman University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Business, 53122, Purwokerto, Central Java, Indonesia

*Corresponding author (Sorumlu yazar):
khotimatulbarki@students.undip.ac.id

Keywords: Agricultural, digital, IoT, policy, technology

Anahtar sözcükler: Tarım, dijital, IoT, politika, teknoloji

Systematic literature review: Agricultural digitalization, technological transformation towards efficient and sustainable agriculture

Sistemik literatür taraması: Tarımsal dijitalleşme, verimli ve sürdürülebilir tarıma doğru teknolojik dönüşüm

Alınış (Received): 30.10.2023

Kabul Tarihi (Accepted): 23.05.2024

ABSTRACT

Objective: The objective of this study was to utilize a literature review and the PRISMA methodology. Analyzing how agriculture can alleviate the world's food problems is crucial. The application of digital platforms, artificial intelligence, and sensors, with a strong emphasis on innovation and digitalization, provides tangible evidence of the impact of digital agriculture.

Materials and Methods: This study comprehensively analyzes existing studies. Specific attention is given to policies encouraging digital technology adoption in agriculture, assessing challenges, studying policies from developed and developing nations to synthesize findings.

Results: By the use of IoT, big data analytics, and AI, digital technology improves sustainability, productivity, and efficiency in agriculture. Benefits for both developed and developing countries are acknowledged, but issues like training and access continue. Legislators must enact laws and take other measures to foster favorable conditions. Digital technology adoption increases productivity and decision-making, but it also creates privacy issues. Infrastructure, education, and data protection should be the main focuses of government policy in order to promote fair and sustainable agricultural development.

Conclusion: Adopting digital technology in agriculture on a large scale and improving global sustainability and efficiency require effective legislation. To advance the industry, recommendations include incorporating technical advancements into Indonesian agriculture laws based on successful worldwide experiences.

ÖZ

Amaç: Bu çalışmanın amacı literatür araştırmasının yapılması ve PRISMA yönteminin kullanılmasıdır. Araştırma, dijital platformların, sensörlerin ve yapay zekanın tarım üzerindeki etkilerine özel bir vurgu yaparak, dijital teknolojilerin küresel gıda güvenliği sorunlarını çözmeye oynadığı rolü incelemektedir.

Material ve Yöntem: 30 makalenin analizi araştırmanın temelini oluşturmuştur. Araştırma kriterleri titizlikle uygulandı ve sonuçlar PRISMA kılavuzlarına uygun olarak metodik olarak birleştirildi.

Araştırma Bulguları: Nesnelerin İnterneti (IoT), büyük veri ve yapay zeka gibi dijital teknolojiler, mahsullerin hayatta kalmasını, üretkenliğini ve başarısını artırmayı sağladı. Araştırmaya göre, bu teknolojiler hava durumu, toprak kontrolü ve haşere kontrolü için kullanılabilir. Gelişmiş ülkelerde uygulanmasında eğitim eksikliği ve erişim eksikliği gibi sorunlarla karşılaşmaktadır. Dijital tarım, uygun politikalarla desteklendiğinde mahsul verimini, kaynak verimliliğini ve karar alma süreçlerini iyileştirmek için büyük bir potansiyele sahiptir. Bu nedenle, veri güvenliği, eğitim ve altyapı politikaları çok önemlidir.

Sonuç: Dijital tarım, kaynak verimliliğini, mahsul verimini ve karar alma süreçlerini iyileştirebilir, ancak bunu başarmak için uluslararası işbirliği ve uygun politika taahhütleri gereklidir.

INTRODUCTION

The goal of ensuring food security on a worldwide scale has become more difficult in recent years due to the growing global population and the increasing impact of climate change on agricultural production. In response to these challenges, there is a growing interest in finding new ways to address the global food crisis and support sustainable agriculture. Meeting the increasing nutritional needs of the population is essential for agriculture, which is the foundation of many economies. Conventional farming methods face several problems, including declining natural resources, increased efficiency, and resource limits. With populations increasing worldwide and the impact of climate change on agricultural productivity, the challenge of ensuring food security worldwide is increasingly becoming difficult (FAO, 2020). Therefore, it is imperative to investigate new approaches to support sustainable agriculture and address the global food crisis (FAO, 2021). Agriculture is essential to meeting the nutritional needs of a growing population because it is the basis of many economies (FAO, 2019). However, conventional farming methods face a number of problems, such as reduction of natural resources, increased efficiency, and limited resources (Çakmakçı et al., 2023). In agriculture, artificial intelligence (AI), digital technologies, and sensor-based solutions have been the path to progress in response to these challenges (Oliveira et al., 2023). The rise of sensors, digital platforms and artificial intelligence has transformed agricultural operations by improving production, accuracy and sustainability (Sharma et al., 2023). Developed countries made great progress in integrating this technology into their agricultural systems to demonstrate its potential benefits for small and large-scale agricultural operations. However, despite these advances, there is still a lack of knowledge on how these innovations can be used effectively in developing countries, where agricultural practices are often characterized by various difficulties, such as limited access to technology (Dhanaraju et al., 2022).

In agriculture, there has been a major shift towards the integration of digital technology, artificial intelligence, and sensor-based solutions. These technologies have demonstrated the capacity to transform agricultural operations by improving sustainability, production, and accuracy. While developed countries have made great progress in integrating this technology into their agricultural systems, they still do not understand how this innovation can be used in developing countries. Developing countries often face problems such as limited access to technology, scattered land tenure, and insufficient infrastructure. Policies that encourage the use of digital technology in agriculture have become popular around the world, showing that more and more people are realizing how important a paradigm shift is in agricultural engineering.

The success of these policies varies, and a deeper understanding of effective techniques that can be applied in a variety of agricultural contexts in both developed and developing countries is required, as they enable farmers to adopt digital solutions and increase productivity while using fewer resources and producing higher yields. Policies that encourage the use of digital technologies in agriculture have become popular around the world, showing how important it is to change the paradigm of agricultural engineering (FAO, 2019). Farmers should be able to adopt digital solutions and increase productivity while using fewer resources and yielding higher yields with the help of these rules (Konfo et al., 2023). Although the success of these policies varies, future agricultural development projects must be driven by knowledge of effective techniques. This study looks at the benefits of implementing digital technologies in agriculture across the board and examines the impact of policies in developed and developing countries. The purpose of this study is to increase current knowledge. In addition, the study recognizes how important it is to address the challenges associated with incorporating digital technologies. This study ensures that these advances can be obtained and benefit many agricultural practitioners (Mikhailov et al., 2022). To improve agricultural sustainability, it is important to achieve the Sustainable Development Goals (SDGs) (FAO, 2018). This goal can be achieved by digital agriculture by producing more with less environmental impact (Hrustek, 2020).

The study conducted will address global issues, innovative solutions, and the use of digital platforms, artificial intelligence, and sensors in agriculture to build a resilient and sustainable future. This

is because digital agriculture has the potential to produce more results with less environmental impact. Therefore, this research aims to enhance the current knowledge base to create a resilient and sustainable future by thoroughly examining the benefits of applying digital technologies in agriculture. The study intends to provide insights into effective methods and recognize the importance of solving difficulties related to the integration of digital technology by studying the effects of policies across different agricultural settings. Furthermore, the objective is to provide significant perspectives on the capacity of digital technology to tackle sustainability issues in agriculture, including improving resource efficiency, reducing climate change, and guaranteeing food security. The goal of the study is to provide useful suggestions for the efficient application of digital technology in various agricultural contexts by analyzing case studies and best practices from industrialized and developing nations. It will also go over how technical advancements are making it easier for traditional and contemporary farming practices to coexist, with an emphasis on how this is helping small-scale farmers in developing nations.

MATERIALS and METHODS

This study was carried out in order to perform a literature review that can be used as a resource in descriptive and explanatory research. Using a narrative systematic review approach, specifically the Systematic Literature Review (SLR) method with Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis (PRISMA) guidelines, this study identified and analyzed relevant research topics in descriptive-based studies that addressed current and interesting issues. The Systematic Literature Review approach, along with the PRISMA methodology, permitted a thorough search and screening of relevant publications. To find papers that aligned with the study aims, the established inclusion and exclusion criteria were strictly implemented. This study contained 30 papers and the findings were methodically arranged and presented in accordance with the PRISMA criteria. The PRISMA technique aided in the methodological arrangement and presentation of the findings of the review. This comprehensive strategy aims to increase knowledge on the subject by integrating information from a broad selection of 30 papers that satisfied the established criteria. It can be stated that this study contributes to the body of knowledge in the field by using a narrative systematic review technique and adhering to the PRISMA principles, providing a useful resource for future descriptive and explanatory investigations. The following is a list of 30 articles used in this study with the PRISMA method as follows:

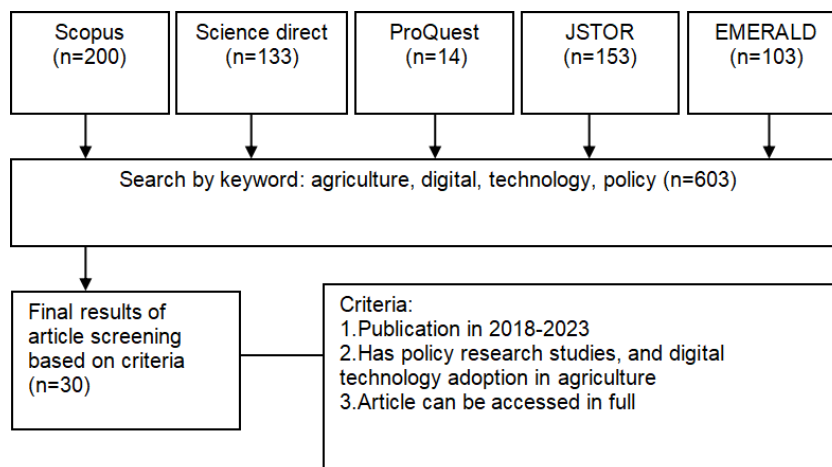


Figure 1. PRISMA method.

Şekil 1. PRISMA yöntemi.

RESULTS and DISCUSSION

Number and Type of Publications

Several academic studies investigated the influence of incorporating digital technology into agriculture on agricultural policies. Researchers, institutes, governmental entities, and numerous organizations have been actively studying the use of digital technology in agriculture. The link between the incorporation of digital technology in agriculture and its alignment with government policy goals related to agribusiness and agricultural development is a recurring subject of this study. Notably, a temporal analysis based on the publication year classification revealed an increasing tendency in research effort. According to classification by year of publication, many studies showed that the adoption of digital technologies in agriculture supports government policy programs related to agribusiness and agricultural development. Studies conducted over the past five years were in 2018 (10%), 2019 (10%), 2020 (17%), 2021 (17%), 2022 (37%), and 2023 (10%) as shown in Table 1.

Table 1. Number of studies as published by the year of publication

Çizelge 1. Yayın yılına göre araştırmalar ve sayıları

Year	Amount	Percentage (%)
2018	3	10
2019	3	10
2020	5	17
2021	5	17
2022	11	37
2023	3	10
		100

Source: Primary Research Data, 2023.

The authors' classification, as delineated by their affiliations, revealed a predominant representation from academic institutions, with 90% of the contributors affiliated with universities and colleges. This underscores the substantial involvement of scholars and academics in exploring the intersection between digital technology and agriculture, highlighting the keen interest of the academy community in this research domain. Additionally, the data indicated that 10% of the authors were associated with the research sector reflecting the engagement of professionals and experts from non-academic research entities. This diversity in authorship affiliation suggests a collaborative effort between academia and the broader research sector to address the multifaceted implications of integrating digital technology into agricultural practices comprehensively. The juxtaposition of these affiliations underscores the interdisciplinary nature of research, as both academic and research sector perspectives contribute to a holistic understanding of the complex dynamics between digital technology and agricultural policy as shown in Table 2.

Table 2. Author affiliation

Çizelge 2. Yazar bağlantıları

Affiliation	Amount	Percentage (%)
University	27	90
Researcher	3	10
		100

Source: Primary Research Data, 2023.

Research on digital technology in agriculture relies on diverse sources, with 13% from e-journals and a significant 37% from research findings. Half of the papers conduct thorough reviews of previous studies, emphasizing knowledge synthesis. Conceptual papers constitute 81%, empirical research 19%,

and case studies 11%, all maintaining methodological rigor. Methodologies consist of surveys (20%), case studies (55%), and regression analysis (14%). Additional techniques like Structural Equation Modeling (SEM) (2%), NVIVO (5%), and Partial Least Squares (PLS) (2%) were also utilized, showcasing methodological diversity.

Geographically, the research landscape spans both developing and developed countries over the past five years, predominant 70% of research articles originating from developed nations. Notable contributors included China (20%), the USA (20%), Germany (10%), France (3%), Greece (3%), Australia (3%), Taiwan (3%), the UK (3%), and Japan (3%). Developing countries accounted for 30% of the research output, with contributions from Russia (7%), Ukraine (3%), Philippines (3%), Indonesia (3%), India (10%), and Kenya (3%) (see Table 3 for a detailed breakdown). This global distribution underscores the widespread interest and engagement of countries across different levels of economic development in exploring the intersection between digital technology and agriculture as shown in Table 3.

Table 3. Country distribution of research publications

Çizelge 3. Ülkelere göre araştırma yayınlarının dağılımı

	Amount	Percentage (%)
Developed Countries		
China	6	20
US	6	20
Germany	3	10
France	1	3
Greece	1	3
Australia	1	3
Taiwan	1	3
UK	1	3
Japan	1	3
Developing Countries		
Russia	2	7
Ukraine	1	3
Philippines	1	3
Indonesia	1	3
India	3	10
Kenya	1	3
		100

Source: Primary Research Data, 2023.

Digital Technology in Agricultural Development

Digital technologies have great potential to accelerate agricultural growth and increase productivity. As it can improve the productivity, efficiency, and sustainability of the agricultural sector, digital technology is essential for agriculture (Gabriel & Gandorfer, 2023). Based on the statement of Zhong et al. (2021), digital technologies such as mobile agricultural applications, AI, big data analytics, blockchain, and IoT can be used for weather monitoring, soil management, pest management, and animal health monitoring. In addition, digital technologies have the potential to improve the market, strengthen the link between the agricultural sector and information and communication technology, and enhance the capacity of farmers. Therefore, to increase the productivity and sustainability of the agricultural sector, the government and the agriculture industry must support the spread and adoption of technology in the agricultural sector. Overall, the use of digital technologies in agriculture can help farmers improve productivity, efficiency, and yield quality of agricultural products. This promotes more sustainable agriculture and contributes to global food security (Lioutas et al., 2021).

Digital agriculture has been used by both developed and developing countries to achieve agricultural development goals. Some of the digital technologies include big data technology to improve crop monitoring data, supply chain coordination, and sustainability metrics, as well as distributed ledger technology (DLT) to change the roles of stakeholders in the agricultural supply chain. In agriculture, big data technologies can be used to improve the quality of crop monitoring data, sustainability metrics and supply chain coordination. By collecting and analyzing data from various sources, big data technology can provide insights into crop growth patterns, soil quality, weather patterns, and other elements that affect agricultural production (Jayashankar, 2020). Reducing waste, improving sustainability, and increasing crop yields can be achieved using this data. In addition, big data technologies can be used to coordinate the supply chain from farm to market by providing information on inventory levels, demand, and prices in real time. Farmers can use algorithms and data analytics techniques to collect and analyze farm data so that they can understand trends, patterns, and variability in their production. Using algorithms and data analytics techniques, farmers can make crop forecasts, import more crops, and increase yields. Agricultural technology providers can decide how to make the co-creation process more beneficial for farmers. Technology providers also can create the right technology tools that help farmers understand crop management. Agricultural stakeholders can learn how to create big data analytics tools and marketing narratives to maximize value and prevent value destruction (Griffin, 2022).

Additionally, some developed countries have used artificial intelligence technologies such as Artificial Intelligence AI to support agricultural development. Farmers can develop prediction models with artificial intelligence and machine learning to anticipate weather changes, forecast harvest levels, and optimize agricultural risk management (Garske, 2021), new cloud-based Internet of Things (IoT) systems to monitor livestock health parameters, such as stress levels, body temperature, movement recognition, and heart rate, as well as environmental metrics such as relative humidity levels and air temperature. In addition, livestock and their owners can be electronically identified through ear tags used with smart cards and UIDs (Saravanan & Saraniya, 2018). Farmers can also monitor and control farm conditions in real-time with IoT connected sensors and devices. For example, they can measure temperature, humidity, soil pH, and air quality in the farm field. This data can help make better decisions about what to do, such as fertilizing, watering, or protecting crops against pests and diseases (Wang et al., 2020). The development of digital villages and the use of digital technologies in China to promote sustainable agriculture are also reported to have a positive impact on the progress of the sector (Wang & Tang, 2023). Digital technologies in agriculture can improve productivity, efficiency, and sustainability. However, it is important to consider that these technologies are accessible to all farmers, that the necessary infrastructure is in place, and that farmers must receive the necessary training and instruction to utilize them effectively. All of these can work together to improve the efficiency of agricultural production and help farmers make better choices (Kumar & Basu, 2022).

E-agriculture or agricultural digitalization is a pillar of agricultural and rural development (Ugochukwu & Phillips, 2017). The adoption of digitalization in agriculture provides great benefits to agricultural productivity due to its potential to support sustainable agricultural development, digital agricultural technology has attracted a lot of attention because it can improve agricultural sustainability, productivity and efficiency (Kashina et al., 2022; Zhu et al., 2023). Research conducted by Kitole et al. (2024) shows that digitalization of agriculture can increase agricultural production in Tanzania, in the study it was found that 78% of farmers agree that digitalization of agriculture can reduce risk and uncertainty, 74.75% of farmers stated that digitalization has made it easier for them to access capital/money, so that farmers' income can increase. However, on the other hand, Kitole et al. (2024) in their research found that the adoption of digital technology among smallholders in Tanzania was influenced by household income. This shows that a high level of income will certainly be easier to access agricultural digitalization because it has the resources to invest (Sanga et al., 2014; Rotondi et al., 2020; Subramanian, 2021). Therefore, support from various parties, especially the government, is needed in encouraging the transformation of

agricultural digitalization. Abdulai (2022) also stated that digitalization of agriculture has an impact on increasing productivity, profitability, and is able to reduce the risk/uncertainty of climate change that is often felt by smallholders. Digitalization of agriculture is a source of strength to increase rural incomes, food security and national economy because it encourages farmers to make the right decisions and be able to connect small-scale farmers to consumers or more profitable markets (Keogh & Hendry, 2016; Mushi et al., 2022; Kitole et al., 2023).

Digital farming has been used in a variety of contexts and demonstrates the ability to transform agricultural practices. Case studies have shown how digitalization impact agriculture in different regions. For example, the spatial distribution of Freshippo village in China shows the adoption of sustainable digital farming practices (Peng et al., 2023). In Nigeria, a review of agricultural digitalization shows the country's efforts to adopt digital technologies in agriculture (Izuogu et al., 2023). Furthermore, the "Africa Goes Digital" case emphasizes the development of communities of practice consisting of companies founded by youth engaged in agriculture through digitalization, affirming the important role played by youth in African agriculture (Ayamga et al., 2023). Case studies using the latest technology in the digital management of agriculture in Romania showed the progress the country has made in digitizing its agricultural practices. In addition, the influence of the digital economy on the growth of high-quality specialty farmer cooperatives in China demonstrates the potential of digital technology transformation in agricultural cooperatives (Liu & Zhang, 2023). These case studies collectively show the different ways digital agriculture is used and its impact in different regions, showing how it can help develop sustainable agriculture.

In agriculture, the Internet of Things (IoT) is growing in popularity, transforming traditional farming methods and supporting sustainable growth. IoT implementation in agriculture includes the use of interconnected sensors and devices to collect and transmit data, allowing farmers to optimize various aspects of agricultural production and make data-driven decisions. According to Ciruela-Lorenzo et al. (2020), Automated systems using Internet of Things (IoT) technology have been created to monitor and control agricultural processes. For example, in Europe, the "Internet of Food and Farm 2020" demonstrates the integration of the Internet of Things throughout the supply chain, from logistics and processing to field operations. As a result, an olive farming cooperative developed an "automatic olive chain".

Sugarcane farming communities have been using the Internet of Things through wireless sensor networks connected by Internet of Things technology. This enables a network of automated rainfall gauges and data collection to support better decision-making (Fielke et al., 2021). In addition, it is proven that the Internet of Things (IoT) has the ability to improve the efficiency and sustainability of resources. IoT sensors and remote sensing can improve technical efficiency, business performance, and agricultural sustainability (Garske et al., 2021). In addition, it has been proven that the ever-increasing digital transformation of agriculture facilitated by IoT systems increases farmers' production efficiency and the quality of agricultural products, which in turn results in an increase in farmers' incomes (Zhang & Fan, 2023). In addition, the Internet of Things has played an important role in encouraging environmentally friendly livestock management, assisting animal welfare, and supporting sustainable agricultural practices (Rolandi et al., 2021). The use of IoT in farm management can improve animal welfare and support sustainable agricultural practices. Overall, it has been proven that the use of the Internet of Things (IoT) in the agricultural industry has the ability to encourage sustainable agricultural practices, improve resource efficiency, and improve decision-making processes. Ultimately, this will result in progress in the agricultural industry.

The digital transformation of agriculture has many beneficial aspects but it also brings unacceptable impacts and several problems. Digital agricultural transformation will reduce human labor so that it will have an impact on increasing unemployment (Carlson, 2008). The use of digital agricultural technology will also create a gap between traditional farmers and modern farmers and will cause problems of inheritance of traditional agricultural culture that is environmentally friendly for young farmers (Lobley et al., 2018;

Burton et al., 2008). An example of the adverse impact of digital transformation is that machines replace labor in China, even though agriculture in China provides jobs for 194.45 million people, mainly living in rural areas (National Bureau of Statistics of China, 2019). In addition, digital transformation has an impact on weak data privacy and security. In China, some farmers are not aware of cyber threats such as data theft, accessing sensitive data, and so on (Xie et al., 2021). Therefore, special attention is needed in the social and political implications caused by the digital transformation of agriculture.

Agricultural Policy towards Digital Technology Adoption

Considering the advances in digital technologies that have been implemented in several developed and developing countries, it is clear that policies that support the adoption of digital technologies in the agricultural sector are an important step towards innovation, increased productivity and sustainability. Digital technology has transformed the world of agriculture by offering effective and real-time data-driven solutions to farmers' problems. Appropriate policies are still needed to encourage the adoption of digital technologies in agriculture. One important step towards innovation, increased productivity, and sustainability of the agricultural sector is a policy that supports the adoption of digital technology. With good technology infrastructure, adequate education and training, adequate funding, data and privacy protection, and intensive research, farmers will be able to adopt digital technologies successfully and utilize them to increase yields, reduce losses, and produce better products. Policymakers should think of ways to reach out to farmers and the agriculture industry. The agriculture industry can use digital mobile-based interfaces to support the adoption of these technologies.

Supportive government regulations and policies should favor the adoption of these technologies in the agricultural sector. To combat low productivity and poverty, the agricultural sector must build and strengthen its relationship with information and communication technologies in various areas, especially in agricultural production, improving markets, and building farmers' capacity. Mobile agriculture applications have been initiated by the Indian government and can now be used by farmers in many areas such as crop protection, weather monitoring, soil management, and pest management (Sharma et al., 2020). Kenya has implemented digital finance for farmers. Agribusiness risks will be reduced with the adoption of more financial services (Gopane, 2018). The agriculture sector also requires strengthening the workforce, especially in rural areas for technology adoption. Currently, the success of mobile agricultural applications depends on penetration into rural areas. Chuang et al. (2020) stated that when HR knowledge, perception, and behavior are good, the adoption of agricultural innovations will be successful.

Policy makers should consider ways to collaborate with local authorities and the agricultural industry to support digital mobile-based interfaces. To educate end users, agricultural science curricula should be enriched with information on advances in agricultural extension (Drewry et al., 2022). In addition, actions need to be taken to revive strategies to popularize mobile farming applications and their implications. Policies around the world have made the adoption of digital technologies and mobile devices in agricultural practices a top priority, so the implementation of smart agriculture with the use of smart technologies will be more quickly achieved (Gerli et al., 2022).

The government should concentrate on increasing the adoption of technology in the agricultural sector. The government can create policies to encourage the adoption of digital technologies, such as mobile apps for farmers, electronic identification for livestock, and the use of big data technologies to organize supply chains and monitor crops. In addition, the government can use digitalization to support the development of digital villages and promote sustainable agriculture. In addition, the government can establish policies to bridge the digital divide and encourage digital empowerment in rural areas, as well as to promote high-quality and environmentally friendly agricultural development. To encourage innovation in the agricultural sector, the government should create policies that support the adoption of digital technologies, such as artificial intelligence (AI), Internet of Things (IoT), and data analytics. These technologies can generate new efficient and sustainable solutions to address challenges in agricultural production.

Policies that support the adoption of these digital technologies will help developing and implementing these innovative solutions. Government policies that encourage farmers to use digital technologies can increase the productivity of the agricultural sector and improve crop monitoring and management as well as the quality and quantity of production. Digital technology can also improve the resilience and sustainability of the agriculture sector. Farmers can find and address issues before they become serious problems through accurate and real-time monitoring. In addition, digital technology can help in effective water management, proper fertilizer use, and disease and pest prevention. In addition to promoting sustainable agricultural practices, policies that support the adoption of digital technologies will increase the resilience of the agricultural sector to market fluctuations and climate change. Better financial management and agricultural information can be accessed through digital technology. Through digital platforms, farmers can find out market prices, the latest cultivation techniques, weather information, and business opportunities. Farmers can optimize their product sales, expand market reach, and make better decisions using digital technology. Government policies that encourage the adoption of digital technology will expand market opportunities and improve information accessibility. If agricultural enterprises are able to innovate technologically, they will have to compete with global competition. The government can play an important role in encouraging the adoption of digital technology by making the right policies.

CONCLUSION

In agriculture, the use of digital technology can significantly increase productivity, efficiency, and sustainability. Technologies such as the Internet of Things, big data analytics, and AI offer real-time solutions for livestock management, supply chain coordination, and crop monitoring. Although digitalization helps developed and developing countries, issues such as access and training still need to be addressed. Policymakers play an important role in creating a supportive environment through the implementation of supportive regulations and initiatives. In agriculture, the adoption of digital technologies can improve production, resource efficiency, and decision-making. However, this also raises issues such as privacy concerns and changes in agricultural systems. To ensure equitable profits and promote sustainable agricultural development, government policies should concentrate on infrastructure, education, and data protection.

ACKNOWLEDGMENT

The author expresses sincere gratitude to everyone who helped with this study, especially to Ege University for their invaluable help.

Data Availability

The datasets generated during and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Author Contributions*

Conception and design of the study: KB, MAR; sample collection: KB, MAR; analysis and interpretation of data: KB; statistical analysis: KB, MAR; visualization: KB; writing manuscript: KB, MAR; writing, review and editing: KB.

Conflict of Interest

The authors state no conflict of interest.

Ethical Statement

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

Financial Support

The authors state no funding involved.

Article Description

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

REFERENCES

- Ayamga, M., A. Lawani, S. Akaba & A. Birindwa, 2023. Developing institutions and inter-organizational synergies through digitalization and youth engagement in african agriculture: the case of "africa goes digital". *Land*, 12 (1): 199. <https://doi.org/10.3390/land12010199>.
- Bugayong, I. D., K. Hayashi, N.J V.B. Querijero , M.E.M. Orden, N. Agustiani, L. Hadiawati, I.H. Siregar, W.B. Carada & V.A. Atienza, 2019. Technology transfer pathways of information and communication technologies for development (ICT4D): the case of the weather-rice-nutrient integrated decision support system (werise) in Indonesia. *Journal of The International Society for Southeast Asian Agricultural Sciences*, 25 (2): 104-117.
- Burton, R. J. F., C. Kuczera & G. Schwarz, 2008. Exploring farmers' cultural resistance to voluntary agri-environmental schemes. *Sociologia Ruralis Journal of the European Society for Rural Sociology*, 48 (1): 16-37. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9523.2008.00452.x>
- Çakmakçı, R., M.A. Salık & S. Çakmakçı, 2023. Assesment and principles of environmentally sustainable food and agricultural systems. *J. of Agriculture*, 13 (5): 1073. <https://doi.org/10.3390/agriculture13051073>
- Carolan, M. S., 2008. More-than-representational knowledge/s of the countryside: how we think as bodies. *Sociologia Ruralis Journal of the European Society for Rural Sociology*, 48 (4): 408-422. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9523.2008.00458.x>
- Chuang, J.H., J.H. Wang, Liou Y.C, 2020. Farmers' knowledge, attitude, and adoption of smart agriculture technology In Taiwan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17 (19): 1-8. <https://doi.org/10.3390/ijerph17197236>
- Ciruela-Lorenzo, A., A. Del-Águila-Obra, A. Meléndez & J. Plaza-Angulo, 2020. Digitalization of agri-cooperatives In the smart agriculture context. *Proposal of A Digital Diagnosis Tool Sustainability*, 12 (4): 1325. <https://doi.org/10.3390/su12041325>.
- Dhanaraju, M., P. Chenniappan, K. Ramalingam, S. Pazhanivelan & R. Kaliaperumal, 2022. Smart farming: internet of things (IoT)-based sustainable agriculture. *Journal of Agriculture*, 12 (10): 1745. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101745>
- Drewry, J.L., J.M. Shutske, D. Trechter, B.D. Luck, 2022. Assessment of digital technology adoption and access barriers among agricultural service providers and agricultural extension professionals. *Journal of The ASABE*, 65 (5): 1049 -1059. <https://doi.org/10.13031/ia.15018>
- FAO, 2018. Sustainable development goals. Food and agriculture organization of the united nations. (Web page: <https://www.fao.org/sustainable-development-goals/en/>) (Date accessed : July, 2023).
- FAO, 2019. The state of food and agriculture 2019. Food and agriculture organization of the united nations. (Web page: <http://www.fao.org/3/ca5162en/ca5162en.pdf>) (Date accessed : July, 2023).
- FAO, 2020. The state of food security and nutrition in the world 2020. Food and agriculture organization of the united nations. (Web page: <http://www.fao.org/3/ca9692en/ca9692en.pdf>) (Date accessed : July, 2023).
- FAO, 2021. Transforming food and agriculture to achieve the SDGs. Food and agriculture organization of the united nations. (Web page: <http://www.fao.org/3/ca9692en/ca9692en.pdf>) (Date accessed: July, 2023).
- Fielke, S. J., R. Garrard, E. Jakku, A. Fleming, L. Wiseman & B.M. Taylor, 2019. Conceptualising the DAIS: implications of the 'digitalisation of agricultural innovation systems' on technology and policy at multiple levels. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*, 90 (1): 1-11.
- Fielke, S., B. Taylor, E. Jakku, M. Mooij, C. Stitzlein, A. Fleming & M. Vilas, 2021. Grasping at digitalisation: turning imagination into fact in the sugarcane farming community. *Sustainability Science*, 16 (2): 677-690. <https://doi.org/10.1007/s11625-020-00885-9>.
- Gabriel, A. & M. Gandorfer, 2019. Adoption of digital technologies in agriculture—an inventory in a european small-scale farming region. *Precision Agriculture*, 24 (1): 68-91. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.04.002>

- Garske, B., A. Bau & F. Ekardt, F, 2021. Digitalization and AI in European agriculture: a strategy for achieving climate and biodiversity targets?. *Journal of Sustainability*, 13 (9): 4652. <https://doi.org/10.3390/su13094652>
- Gerli, P., J. Clement, G. Esposito, L. Mora & N. Crutzen, 2022. The hidden power of emotions: how psychological factors influence skill development in smart technology adoption. *Technological Forecasting and Social Change*, 180: 121721. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121721>
- Gopane, T., 2018. "What is the impact of digital financial service on agribusiness market risk? 1-7". in 2018 IST-Africa week conference (IST-Africa). South Africa, University of Johannesburg, 1-7 pp.
- Griffin, T.W., K.D. Harris, J.K Ward, P. Goeringer & J.A. Richard, 2022. Three digital agriculture problems in cotton solved by distributed ledger technology. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 44 (1): 237-252. <https://doi.org/10.1002/aapp.13142>
- Hrustek, L., 2020. Sustainability driven by agriculture through digital transformation. *Sustainability Journal*. 12 (20): 8596. <https://doi.org/10.3390/su12208596>
- Huang, X., F. Yang & S. Fahad, 2022. The impact of digital technology use on farmers' low-carbon production behavior under the background of carbon emission peak and carbon neutrality goals. *Frontiers in Environmental Science*, 10: 1002181. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1002181>.
- Izuogu, C., L. Njoku, M. Olaolu, P. Kadurumba, G. Azuamairo & G. Agou, 2023. A review of the digitalization of agriculture In Nigeria. *Journal of Agricultural Extension*, 27 (2): 47-64. <https://doi.org/10.4314/jae.v27i2.5>
- Jayashankar, P., W.J. Johnston, S. Nilakanta & R. Burrell, 2020. Co-creation of value-in-use through big data technology- A B2B agricultural perspective. *Journal of Business and Industrial Marketing*, 35 (3): 508-523. <https://doi.org/10.1108/JBIM-12-2018-0411>
- Kanna, M., 2021. Digital transformation of the agricultural sector: pathways, drivers and policy implications. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 43 (4): 1221-1242. <https://doi.org/10.1002/aapp.13103>
- Kashina, E., G. Yanovskaya, E. Fedotkina, A. Tesalovsky, E. Vetrova, A. Shaimerdenova & M. Aitkazina, 2022. Impact of digital farming on sustainable development and planning in agriculture and increasing the competitiveness of the agricultural business. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 17 (8): 2413-2420. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.170808>
- Keogh, M. & M. Henry, 2016. The Implications of digital agriculture and big data for Australian agriculture. Australian Farm Institute, Sydney, Australia, 1-84 pp.
- Kitole, F. A., E. Mkuna, and J.K. Sesabo, 2024. Digitalization and agricultural transformation in developing countries: empirical evidence from Tanzania agriculture sector. *Smart Agricultural Technology*, 7 (2024): 100379. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100379>
- Kitole, F., R. Lihawa, J. Sesabo & C. Shitima, 2023. The dynamism of communication technology adoption, market information and welfare: evidence from Nile perch (*Lates niloticus*) fish market, Mwanza, Tanzania, Lake. *Journal of Lake & Reservoirs Research & Management*, 28 (1): 1-13. <https://doi.org/10.1111/lre.12433>.
- Kondratiev, V. (2018). Global value chains, industry 4.0 and industrial policy. *Journal of The New Economic*. 9 (3): 170-177. Doi: <https://doi.org/10.31737/2221-2264-2018-39-3-11>
- Konfo, T.R.C., F.M.C. Djouhou, M.H. Hounhouigan, E. Dahouenon-Ahoussi, F. Avlessi & C.K.D. Sohounhlooue, 2023. Recent advances in the use of digital technologies in agri-food processing: a short review. *Applied Food Research*, 100329. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100329>
- Korotchenya, V., 2019. Digital agriculture and agricultural production efficiency: exploring prospects for Russia. *J. Espacios*, 40 (22): 22-35.
- Kumar, A. & S. Basu, 2022. Can end-user feedback inform 'responsibilisation' of India's policy landscape for agri-digital transition?. *Sociologia Ruralis*, 62 (2): 305-334. <https://doi.org/10.1111/soru.12374>
- Lioutas, D., C. Charatsari. M.D. Rosa, 2021. Digitalization of agriculture: a way to solve the food problem or a trolley dilemma?. *Technology In Society*, 67 (2021): 101744. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101744>.
- Liu, X. and Zhang, X., 2023. The impact of the digital economy on high-quality development of specialized farmers' cooperatives: evidence from China. *Sustainability Journal*, 15 (10): 7958. <https://doi.org/10.3390/su15107958>.
- Lobley, M., R. Winter, and R. Wheeler, 2018. *The changing world of farming in Brexit UK (Perspectives on Rural Policy and Planning)*. CRC Press: Routledge, UK, 262 pages.

- Maurel V.B., E. Lutton, P. Bisquert, L. Brossard, S. Chambaronginhac, P. Labarthe, P. Lagacherie, F. Martignac, J. Molena, N. Parisey, S. Picault, S. Piot-Lepetit & I. Veissier, 2022. Digital revolution for the agroecological transition of food systems: a responsible research and innovation perspective. *Journal of Agricultural Systems*, 203 (2022): 103524. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103524>.
- Mikhailov, A., G.F. Camboim, F.M. Reichert & P.A. Zawislak, 2022. The application and benefits of digital technologies for agri-food value chain: evidence from an emerging country. *RAM. Revista de Administração Mackenzie*, 23 (5): 1-29. <https://doi.org/10.1590/1678-6971/eramr220114.en>
- Mushi, G. E., G.D.M. Serugendo, and P-Y Burgi, 2022. Digital technology and services for sustainable agriculture in Tanzania: a literature review. *Sustainability Journal*, 14 (4): 1-1. <https://doi.org/10.3390/SU14042415>.
- National Bureau of Statistics of China, 2019. Number of employed persons by three industries. (Web page: <https://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01>) (Date accessed: January, 2024).
- Novak, I.M., O.Y. Ermakov, O.A. Demianyshyna & Revytska, 2020. Digitalization as a vector of technological changes of Ukraine. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 9 (1): 3429-2434.
- Oliveira, R.C.D. & R.D.D.S.E. Silva, 2023. Artificial intelligence in agriculture: benefits, challenges, and trends. *Applied Sciences*, 13 (13): 7405. <https://doi.org/10.3390/app13137405>
- Peng, X., G. Wang & G. Chen, 2023. Spatial distribution of freshippo villages under the digitalization of new retail in china. *Sustainability*, 15 (4): 3292. <https://doi.org/10.3390/su15043292>.
- Prause, L., 2021. Digital agriculture and labor: a few challenges for social sustainability. *Journal of Sustainability*, 13 (11): 5980. <http://doi.org/10.3390/su13115980>
- Prihadyanti, D. Dan S.A. Aziz, 2023. Indonesia toward sustainable agriculture do technology based start ups play a crucial role?. *J. of Business Strategy and Development*, 6 (2):140-157. <https://doi.org/10.1002/bsd2.229>
- Rolandi, S., G. Brunori, M. Bacco & I. Scotti, 2021. The digitalization of agriculture and rural areas: towards a taxonomy of the impacts. *Journal of Sustainability*, 13 (9): 5172. <https://doi.org/10.3390/su13095172>
- Rotondi, V., R. Kashyap, L.M. Pesando, S. Spinelli, and F.C. Billari, 2020. Leveraging mobile phones to attain sustainable development". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117 (24): 13413-13420. <https://doi.org/10.1073/pnas.1909326117>.
- Sanga, C. A., M. Mussa, S. Tumbo, M.R.S. Mlozi, L. Muhiche, and R. Haug, 2014. On the development of the mobile based agricultural extension system in Tanzania: a technological perspective. *International Journal of Computing and ICT Research (IJCIR)*, 8 (1): 49-67. <https://www.ijcir.org/volume8-issue1/article5.pdf>.
- Saravanan, K. & Saraniya S., 2018. Cloud IoT based novel livestock monitoring and identification system using UID. *Sensor Review*, 38 (1): 21-33. <https://doi.org/10.1108/SR-08-2017-0152>.
- Sharma, A., A. Sharma, A. Tselykh, A. Bozhenyuk, T. Choudhury, M.A. Alomar & M. Sánchez-Chero, 2023. Artificial intelligence and internet of things oriented sustainable precision farming: towards modern agriculture. *Open Life Sciences*, 18 (1): 20220713. <https://doi.org/10.1515/biol-2022-0713>
- Sharma, N.R., S. Sharma & D. Sharma, 2020. Towards a mobile app technology-enabled sustainable agriculture in India. *Plant Archives*, 20 (2): 3065-3071.
- Shen, Z., S. Wang, J.P. Boussemart & Y. Hao, 2022. Digital transition and green growth In Chinese agriculture. *Technological Forecasting and Social Change*, 181: 121742. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121742>.
- Subramanian, A., 2021. Harnessing digital technology to improve agricultural productivity?. *Plos One*, 16 (6): 0253377. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253377>
- Tianyu, Q., L. Wang, Y. Zhou, L. Guo, G. Jiang & L. Zhang, 2022. Digital technology-and-services-driven sustainable transformation of agriculture: cases of China and The EU. *Journal of Agriculture*, 12 (2): 297. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020297>.
- Ugochukwu, A. I. & P. W. B. Phillips, 2017. "Technology Adoption by Agricultural Producers: A Review of The Literature, 361-377". In: *From Agriscience to Agribusiness. Innovation, Technology, and Knowledge Management* (Eds. N. Kalaitzandonakes, E. Carayannis, E. Grigoroudis & S. Rozakis). Springer, Cham. 361-377 pp. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67958-7_17.
- Wang, H & Y. Tang, 2023. Spatiotemporal distribution and influencing factors of coupling coordination between digital village and green and high-quality agricultural-development evidence from China. *Journal of Sustainability* (Switzerland),15 (10): 2-22. <https://doi.org/10.3390/su15108079>.

- Wang, X., D. Cao, C. Jing & A. Daowd, 2020. AI and IoT-based collaborative business ecosystem: a case in chinese fish farming industry. *International Journal of Technology Management*, 82 (2): 151-171. <https://doi.org/10.1504/IJTM.2020.107856>.
- Washizu, A. & S. Nakano, 2022. Exploring the characteristics of smart agricultural development in Japan: analysis using a smart agricultural kaizen level technology map. *Computers and Electronics In Agriculture*, Vol.196. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107001>.
- Xie, L., B. Luo & W. Zhong, 2021. How are smallholder farmers involved in digital agriculture in developing countries: a case study from China. *Land*, 10 (3): 245. <https://doi.org/10.3390/land10030245>.
- Xie, Y., Z. Chen, F. Boadu & H. Tang, 2022. How does digital transformation affect agricultural enterprises' pro-land behavior: the role of environmental protection cognition and cross-border search. *Technology In Society*, 70: 01991. <https://doi.org/10.1016/J.Techsoc.2022.101991>.
- Zhang, X. & D. Fan, 2023. Can agricultural digital transformation help farmers increase income? an empirical study based on thousands of farmers in Hubei Province. *Environment Development and Sustainability*, 25 (4): 1-27. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03200-5>.
- Zhong, R, H. Qiang N. & D.Y. Qi, 2022. Digital economy, agricultural technological progress, and agricultural carbon intensity: evidence from China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19 (11): 6488. <https://doi.org/10.3390/ijerph19116488>
- Zhu, M., Y. Li, Z. Khalid & E. Elahi, 2023. Comprehensive evaluation and promotion strategy of agricultural digitalization level. *Sustainability*, 15 (8): 6528. <https://doi.org/10.3390/su15086528>.

