



ATATURK
UNIVERSITY
PUBLICATIONS

Research in Agricultural Sciences

Formerly: Atatürk University Journal of Agricultural Faculty

Official journal of Atatürk University Agricultural Faculty

Volume 54 • Issue I • January 2023

Research in Agricultural Sciences

Editor

Göksel TOZLU 

Department of Plant Protection, Atatürk University, Faculty of Agriculture, Erzurum, Turkey

Associate Editors

Bülent ÇETİN 

Department of Food Engineering, Atatürk University, Faculty of Agriculture, Erzurum, Turkey

Erdoğan ÖZTÜRK 


Department of Field Crops, Atatürk University, Faculty of Agriculture, Erzurum, Turkey

Selda ORS CIRIK 

Department of Agricultural Structures and Irrigations, Atatürk University, Faculty of Agriculture, Erzurum, Turkey

Nuray DEMİR 

Department of Agricultural Economics, Atatürk University, Faculty of Agriculture, Erzurum, Turkey

Serdar BİLEN 

Department of Soil Science and Plant Nutrition, Atatürk University, Faculty of Agriculture, Erzurum, Turkey

Saliha ÇORUH 

Department of Plant Protection, Atatürk University, Faculty of Agriculture, Erzurum, Turkey

Cihat YILDIZ 

Department of Agriculture, Machinery, Atatürk University, Faculty of Agriculture, Erzurum, Turkey

Melek EKİNCİ 

Department of Horticulture, Atatürk University, Faculty of Agriculture, Erzurum, Turkey

Murat AYDIN 

Department of Biotechnology, Atatürk University, Faculty of Agriculture, Erzurum, Turkey

Sinan KOPUZLU 

Department of Zootechnics, Atatürk University, Faculty of Agriculture, Erzurum, Turkey

Markéta MIHÁLIKOVÁ 

Department of Water Resources, Czech University of Life Sciences, Faculty of Agrobiology, Food and Natural Resources, Prague, The Czech Republic

Advisory Board

Taşkın ÖZTAŞ 

Department of Soil Science and Plant Nutrition, Atatürk University, Faculty of Agriculture, Erzurum, Turkey

Fikretin ŞAHİN 

Department of Genetics and Bioengineering, Yeditepe University, Faculty of Engineering, İstanbul, Turkey

Marcin KADEJ 

Department of Invertebrate Biology, University of Wrocław, Faculty of Biology, Evolution and Conservation, Evolution and Ecology, Wrocław, Poland

Giuseppe Fabrizio TURRISI 

Ministry of Education, University and Research, Catania, Italy

Celeste WELTY

Professor Emerita, Ohio State University, Columbus, Ohio, USA

Atilla DURSUN 

Turkish Manas University, Kyrgyz-Turkish Manas University

Geza BUJDOSO 

Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Research Centre for Fruit Growing, Budapest, Hungary

Shakeel AHMAD 

Department of Agronomy, Bahauddin Zakariya University, Multan, Pakistan

Li YANG 

College of Mechanical and Electrical Engineering, Shihezi University, Shihezi, China



Founder

İbrahim Kara

General Manager

Ali Şahin

Publishing Directors

İrem Soysal

Gökhan Çimen

Editor

Bahar Albayrak

Publications Coordinators

Arzu Arı

Deniz Kaya

Irmak Berberoğlu

Alara Ergin

Hira Gizem Fidan

Vuslat Taş

İrem Özmen

Web Coordinators

Sinem Fehime Koz

Doğan Oruç

Finance Coordinator

Elif Yıldız Çelik

Contact

Publisher: Atatürk University

Address: Atatürk University, Yakutiye, Erzurum, Turkey

Publishing Service: AVES

Address: Büyükdere Cad., 105/9 34394

Şişli, İstanbul, Turkey

Phone: +90 212 217 17 00

E-mail: info@avesyayincilik.com

Webpage: www.avesyayincilik.com

Research in Agricultural Sciences

AIMS AND SCOPE

Research in Agricultural Sciences is a scientific, open access, online-only periodical published in accordance with independent, unbiased, and double-blinded peer-review principles. The journal is official publication of the Atatürk University Faculty of Agriculture and published tri-annually on January, May and September. The publication languages of the journal are Turkish and English.

Research in Agricultural Sciences aims to contribute to the science by publishing high quality publications in all fields of agricultural sciences. The journal publishes original articles, compilations, technical notes and letters to the editor.

The scope of the journal includes but not limited to horticultural crops, plant protection, biosystems engineering, food engineering, forestry engineering, landscape architecture, aquaculture, agricultural economics, agricultural mechanization, agricultural structures and irrigation, field crops, soil, plant physiology, breeding and genetics, cultivation technique and horticultural crops.

The editorial and publication processes of the journal are shaped in accordance with the guidelines of the International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE), World Association of Medical Editors (WAME), Council of Science Editors (CSE), Committee on Publication Ethics (COPE), European Association of Science Editors (EASE), and National Information Standards Organization (NISO). The journal is in conformity with the Principles of Transparency and Best Practice in Scholarly Publishing (doaj.org/bestpractice).

Research in Agricultural Sciences is currently indexed in Web of Science-Zoological Record, CABI, EBSCO, ProQuest, MIAR, DRJI, Index Copernicus, CNKI, and TÜBİTAK ULAKBİM TR Dizin.

All expenses of the journal are covered by the Atatürk University. Processing and publication are free of charge with the journal. No fees are requested from the authors at any point throughout the evaluation and publication process. All manuscripts must be submitted via the online submission system, which is available at www.agriculture-ataunipress.org. The journal guidelines, technical information, and the required forms are available on the journal's web page.

Statements or opinions expressed in the manuscripts published in the journal reflect the views of the author(s) and not the opinions of the Atatürk University Faculty of Agriculture, editors, editorial board, and/or publisher; the editors, editorial board, and publisher disclaim any responsibility or liability for such materials.

Open Access Statement

Research in Agricultural Sciences is an open access publication, and the journal's publication model is based on Budapest Access Initiative (BOAI) declaration. All published content is available online, free of charge at www.agriculture-ataunipress.org. The journal's content is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC) 4.0 International License which permits third parties to share and adapt the content for non-commercial purposes by giving the appropriate credit to the original work.

You can find the current version of the Instructions to Authors at <https://agriculture-ataunipress.org/>

Editor in Chief: Göksel Tozlu

Address: Atatürk University Faculty of Agriculture, Erzurum, Turkey

E-mail: auzfeditor@atauni.edu.tr

Publisher: Atatürk University

Address: Atatürk University, Yakutiye, Erzurum, Turkey

Publishing Service: AVES

Address: Büyükdere Cad., 105/9 34394 Şişli, İstanbul, Turkey

Phone: +90 212 217 17 00

E-mail: info@avesyayincilik.com

Webpage: www.avesyayincilik.com

Research in Agricultural Sciences

CONTENTS

Reviewers List

Acknowledgement of Reviewers 1

Research Article

Influence of Intercropping on the Growth and Yield Performance of Upland Rice (*Oryza sativa* L. var. *zambales*) and Peanut (*Arachis hypogaea* L.)
Jerome AMARADO, Ulysses CAGASAN 2

Total Costs, Labor Requirements, and Work Efficiencies in Rice Production Mechanization in Turkey: A Case Study From Samsun Province
Hasret TÜRER, Taner YILDIZ 9

Determination of the Effect of Irrigation Water and Nitrogen Applications on Potato Beetle (*Leptinotarsa decemlineata* Say) and Natural Enemy Populations
Erdal DAŞCI, İrfan ASLAN 15

Effects of Some Temperature and Dormancy-Breaking Applications on Germination Rates of Camelthorn (*Alhagi pseudalhagi* (Bieb.) Desv.) Seeds
Bilal KESKİN, Süleyman TEMEL, Gülüm GÜREL, Eren ÖZDEN 22

Evaluation of Solid and Liquid Fertilizers in Increasing of Yield, Phosphorus Agronomic and Reuptake Efficiency of Sugar Beet
Duygu Akçay KULLUK, Fatma Gökmen YILMAZ, Mustafa HARMANKAYA, Sait GEZGIN 31

Review

Use of Steel Slags for Agricultural Purposes
Gülşen TOZSİN, Taşkın ÖZTAŞ 36

Ice Nucleation Active Bacteria in Vineyards and Orchards and Low Temperature Damage
Muhammed KÜPE 42

Acknowledgement of Reviewers

Dear readers,

Our reviewers perform very important and precious role in the evaluation of the scientific articles, make valuable contributions to the increasing quality and the rising at an international level of the Research in Agricultural Sciences.

Editorial Board would like to thank all the reviewers that are listed below for their support in Research in Agricultural Sciences in 2022.

Ahmet Ertek
Ali Kemal Birgücü
Ali Özpınar
Behiye Tuba Biçer
Bekir Demirtaş
Cengiz Kazak
Cuma Akbay
Elmas Erdoğan
Emin Bülent Erenoğlu
Emine Yılmaz
Fatih Cemil Özbuğday
Gönül Aydın
Gülçe İlhan
Hacer Çelik Ateş
Halil İbrahim Öztürk
Hülya Saygı
İlhan Gün
İlhan Üremiş
İsmail Karaca
Levent Bat

Mahire Özçalık
Mehmet Metin Özgüven
Mehmet Zengin
Metin Güner
Muhammet Tonguç
Mustafa Kenan Geçer
Mustafa Tan
Mustafa Yıldırım Canbolat
Nebil Yücel
Orhan Çoban
Pervin Erdoğan
Rahime Cengiz
Sebahat Sullıvan
Sezaî Ercisli
Sezer Şahin
Tamer Eryiğit
Taşkın Polat
Tolga Tipi
Yıldıran Yıldırım



Influence of Intercropping on the Growth and Yield Performance of Upland Rice (*Oryza sativa* L. var. *zambales*) and Peanut (*Arachis hypogaea* L.)

Birlikte Ekimin Kır Çeltiği (*Oryza sativa* L. var. *zambales*) ve Yer Fıstığı (*Arachis hypogaea* L.)'nin Gelişme ve Verim Performansı Üzerine Etkisi

Jerome AMARADO 
Ulysses CAGASAN 

Department of Agronomy, Visayas State University, Baybay, Philippines



ABSTRACT

Intercropping is one way of increasing productivity per unit area per unit time. This study aimed to (1) evaluate the effects of timing of planting on the growth and yield of upland rice and peanut under the intercropping scheme, (2) determine the appropriate timing of planting of upland rice and peanut that would give optimum yield, and (3) assess the profitability of upland rice and peanut production under the intercropping scheme as influenced by the timing of planting. The experimental area was laid out in a randomized complete block design with three replications. The treatments were as follows: T₁—upland rice + peanut planted simultaneously, T₂—upland rice planted 1 week ahead than peanut, T₃—upland rice planted 2 weeks ahead than peanut, T₄—peanut planted 1 week ahead than upland rice, and T₅—peanut planted 2 weeks ahead than upland rice. Results showed that upland rice planted 2 weeks ahead of peanut (T₃) and those planted simultaneously with peanut (T₁) headed and matured earlier than the other treatments. Likewise, T₃ and T₅ obtained the heaviest panicles/0.50 linear meter. Similarly, peanut var. BPI-Pn9 planted 2 weeks ahead of upland rice (T₅) flowered and matured earlier than the other treatments. The highest land equivalent ratio and area time equivalent ratio values of 1.50 and 2.02, respectively, were obtained from T₅ (peanut planted 2 weeks ahead of upland rice). The highest combined yield of upland rice (2.42 t/ha) and peanut (1.47 t/ha) was also obtained from T₅, which resulted in the highest gross margin of PhP86,867.02/ha.

Keywords: Area time equivalent ratio, growth and yield, intercropping scheme, land equivalent ratio, timing of planting the crops

ÖZ

Birlikte ekim, birim zamanda birim alan başına verimliliği artırmanın bir yoludur. Bu çalışmanın amacı: (1) birlikte ekim şeması altında kır çeltiği ve yer fıstığının büyümesi ve verimi üzerindeki dikim zamanlamasının etkilerini değerlendirmek, (2) optimum verim verecek kır çeltiği ve yer fıstığının uygun ekim zamanlamasını belirlemek ve (3) birlikte ekim planı kapsamında kır çeltiği ve yer fıstığı üretiminin karlılığını değerlendirmek. Deneme alanı tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak kurulmuştur. Uygulamalar şu şekilde yapılmıştır: T₁—kır çeltiği+aynı anda ekilen yer fıstığı, T₂—yer fıstığından 1 hafta önce ekilen kır çeltiği, T₃—yer fıstığından 2 hafta önce ekilen kır çeltiği, T₄—kır çeltiğinden 1 hafta önce ekilen yer fıstığı ve T₅—kır çeltiğinden 2 hafta önce ekilen yer fıstığı. Sonuçlar, kır çeltiğinin yer fıstığından 2 hafta önce (T₃) ve yer fıstığı ile aynı anda (T₁) ekildiğinde, diğer uygulamalara göre daha erken hasat olgunluğuna ulaştığını göstermiştir. Benzer şekilde, T₃ ve T₅ uygulamalarından en ağır salkımlar elde edilmiştir. Yine, kır çeltiğinden 2 hafta önce ekilen yer fıstığı var. BPI-Pn9 diğer uygulamalardan daha önce çiçeklenmiş ve olgunlaşmıştır. En yüksek alan ve alan zaman eşdeğer oranları sırasıyla 1,50 ve 2,02 olarak T₅ (kır çeltiğinden 2 hafta önce ekilen yer fıstığı) uygulamasından elde edilmiştir. En yüksek toplam verim (2,42 t/ha kır çeltiği + 1,47 t/ha yer fıstığı) T₅ uygulamasından elde edilmiş ve bu da PhP86.867,02/ha ile en yüksek brüt kar sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Alan zaman eşdeğer oranı, gelişme ve verim, birlikte ekim planı, ekim zamanı

Geliş Tarihi/Received: 28.09.2021

Kabul Tarihi/Accepted: 11.10.2022

Yayınlanma Tarihi/Publication Date:
30.01.2023

Sorumlu Yazar/Corresponding Author:
Ulysses Cagasan
E-mail: ulycagasan@vsu.edu.ph

Cite this article as: Cagasan, U., & Amarado, J. (2023). Influence of Intercropping on the Growth and Yield Performance of Upland Rice (*Oryza sativa* L. var. *zambales*) and Peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Research in Agricultural Sciences*, 54(1), 2-8.



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

Introduction

Rice (*Oryza sativa* L.) is the main staple crop in the Philippines. It is considered the most important food crop in the country. In 2010, nearly 20.7 million metric tons of rice were produced, which contributed 21.86% of the gross value added and 2.37% of the country's GNP (Gross National Product). In 2017, the population consumed 11.7 million tons of rice (Jeruto, 2017) and the rice production met 93% of the country's annual rice requirement. The greater demand for food, especially rice, makes it imperative to increase its production due to the rapid population. This can be attained by expanding the area cultivated, utilizing upland areas, and increasing the yield per unit area (Daniel, 2004).

Jeruto (2017) mentioned that many producers and researchers carry out intercropping of annual cereals with legumes to increase productivity and sustainability. Intercropping cereals with legumes has been popular in tropical upland areas due to its beneficial effects on soil conservation and weed control (Dhima et al., 2007). Zhang and Long (2003) reported that intercropping improves soil and water quality by providing year-round ground cover or a more extended period of protecting the soil from drying up. It also minimizes erosion by growing more than one crop in the same field.

To further maximize land use and ensure higher crop productivity, profitability, and sustainability in upland rice production, crop diversification like intercropping should be practiced. This system is profitable because of the reduced cost of weed control as the canopy of the intercrop and the main crop's canopy covers the ground. Moreover, the soil's physical and chemical properties are improved upon the decomposition of the residues (Dordas, 2011). He added that more benefits could be derived when two or more crops are planted together in the same season, provided that light, nutrients, moisture, and proper management are taken into consideration. The growth and yield of upland rice and peanut under the intercropping system would be affected by light, relative humidity, air exchange, and temperature. In this case, the planting time must be adjusted to minimize shading and enable the plants to have adequate light for photosynthesis. Mandal (2014) pointed out that one way to minimize competition between plants for light is to determine the best planting timing.

Studies on the timing of planting of the component crops in upland rice and intercropping peanut scheme still need further evaluation. Hence, this study was conducted from December to April 2020 to evaluate the effects of timing of planting on the growth and yield of upland rice and peanut and assess the profitability of upland rice and peanut production under the intercropping scheme as influenced by the timing of planting.

Methods

An area of 263.5 m² was thoroughly plowed and harrowed alternately using tractor-drawn implements. These farm operations were done twice to remove weeds, pulverize the soil, and level the field. After the last harrowing, six furrows at a distance of 0.75 m for intercropping and 0.50 m for monoculture were made for both upland rice and peanut crops. Drainage canals were constructed around the experimental area and between replications to drain excess water during heavy rains.

One kilogram of composite sample was brought to the Central Analytical Services Laboratory at PhilRootcrops, Visayas State University, Visca, Baybay City, Leyte. These were analyzed for soil pH, % organic matter content (modified Walkley-Black method), total N, extractable phosphorous (Olsen's sodium bicarbonate extraction), and exchangeable potassium. After harvest, five soil samples were collected from the harvestable area in each treatment plot to analyze the same parameters mentioned above.

The experimental area was laid out in a randomized complete block design with five treatments replicated three times. Each replication was divided into five plots measuring 3 m × 4.5 m (13.5 m²). Alleyways of 1.0 m between replication and 0.5 m between treatment plots were provided to facilitate farm operations and data gathering. Peanut was planted in between the rows of upland rice and spaced at 20 cm between hills at two seeds/hill. The treatments used were as follows: T₁—upland rice and peanut planted simultaneously, T₂—upland rice planted 1 week ahead of peanut, T₃—upland rice planted 2 weeks ahead of peanut, T₄—peanut planted 1 week ahead of upland rice, T₅—peanut planted 2 weeks ahead of upland rice. Monocultures of both upland rice and peanut were established at a distance of 0.50 m between rows as superimposed treatments for determining the land equivalent ratio (LER). Seeds of upland rice var. Zambales were drilled in the furrows at the rate of 60 kg/ha or 81 g/13.5 m² plot, while peanut seeds (BPI-Pn9) were planted in between the rows of upland rice at three seeds per hill at a distance of 20 cm between hills. Two weeks after planting, the seedlings were thinned to 2 plants per hill. Monoculture peanut was also planted at the distance of 50 cm between rows and 20 cm between hills and was thinned to 2 plants/hill 2 weeks after planting.

Inorganic fertilizer was applied at the rate of 120-60-60 kg/ha N, P₂O₅, K₂O to upland rice. Half of the amount of N and full amounts of P₂O₅ and K₂O were applied using complete fertilizer. The remaining 60 kg of N was applied 45 days after planting upland rice using urea. For monoculture and intercrop peanuts, the fertilizer rate was 30-30-30 kg/ha N, P₂O₅, and K₂O. This was applied a day before planting of peanut. To control rice bugs of upland rice, Lannate was applied at the rate of 20 g/16 L of water (2 tbsp/1 tank load) at the heading stage. Harvesting upland rice was done when 90% of the grains had matured as manifested by its yellow and hard grains. Yield data were taken from the four inner rows, excluding the two border rows on each side and 0.5 m at each end of the row. The panicles were harvested by cutting at the base using a sickle. The sample plants within the harvestable area (7.7 m²) in each treatment plot were threshed, cleaned, and sundried separately. Weighing of grains was done after drying at 14% moisture content using a seed moisture meter.

On the other hand, peanut was harvested when 90% of the plants within the harvestable area (7.7 m²), excluding two border rows on each side and 0.4 m (two hills of peanut) plants end of the row in each treatment plot, had reached maturity. At this stage, the leaves turned yellow, and the pods were firm. Harvesting was done by uprooting the plants within the harvestable area in each treatment plot with the aid of a bolo.

The following data were gathered for agronomic characteristics of upland rice such as days from planting to heading, days from planting to maturity, plant height (cm), leaf area index, and fresh

straw yield (t/ha). For yield and yield components: number of productive tiller per hill, number of unfilled grains, number of filled grains, (%) filled grains, number of panicles/ 0.50 linear meter, weight (g) of panicles/.50 linear meter, weight (g) of 1000 grains, and total grain yield (t/ha) as well as harvest index (HI). Peanut's agronomic characteristics were number of days from planting to flowering, number of days from planting to maturity, plant height (cm), and fresh herbage yield (t/ha). For yield and yield components: numbers of pods per plant, weight (g) of pods per hill, number of seeds per pod, weight (g) of pods per plot.

Other Parameters Gathered

Efficiency parameters included LER and area time equivalent ratio (ATER), cost and return of upland rice, and peanut production per hectare.

Land Equivalent Ratio

This was the sum of a fraction of the intercrop yield relative to the monoculture yield. This was determined by getting the yield of the crop combinations and their yield in monoculture under the same level of management. The crop LER in the mixture was added to give the LER (Etji, 1982). Below is the formula for how to get the land equivalent ratio:

$$LER = \frac{X_1}{X_2} + \frac{Y_1}{Y_2}$$

where X_1 is the yield of upland rice in a crop combination, X_2 is the yield of upland rice in monoculture, Y_1 is the yield of peanut in combination, and Y_2 is the yield of peanut in monoculture.

An LER of more than 1.0 means that the practice of intercropping is more productive than sole cropping, and LER of less than 1.0 indicates that monocropping is more advantageous than the intercropping scheme, while LER of equal 1.0 means that the productivity of intercropping and sole cropping will be the same.

Area Time Equivalent Ratio

Area time equivalent ratio provides a comparison of the yield advantage of intercropping over mono-cropping in terms of time taken by component crops in the intercropping systems. Area time equivalent ratio was calculated using the formula developed by Hiebsch (2017).

$$ATER = \frac{(RYa \times Ta) + (RYb \times Tb)}{T}$$

where RYa is the relative yield of upland rice in a mixture, Ta is the duration (in weeks) of upland rice, RYb is the relative yield of peanut in a mixture, Tb is the duration (in weeks) of component B (peanut), and T is the total duration of the intercropping system (in weeks).

Incidence of Insect Pest and Diseases Infestation

This was determined using a scale from 1 to 5. One is the lowest or no infestation of pests and diseases present in the field. Five is the highest, indicating severe infestation of pests and diseases in the field.

Cost and Return Analysis

Gross income = yield (kg/ha) × prevailing market price/kg

Net income = gross income – total cost of production

Statistical Analysis

All data collected were analyzed using the Statistical Tool for Agricultural Research. Comparison of means was made using the least significant difference.

Results and Discussion

Soil Chemical Properties

Initial soil analysis showed that the experimental area had a soil pH of 6.38 with 1.324% organic matter, 0.131% total nitrogen, 19.726 mg/kg extractable P, and 0.68 me 100/g exchangeable potassium contents (Table 1). These results suggest that the area was slightly acidic, with a meager amount of organic matter, low total nitrogen content, high available phosphorus, and a high amount of exchangeable K (Landon, 1991).

In the final soil analysis, the soil pH and % OM (Organic Matter) were decreased. This could be due to the presence of intercrop that reduced soil acidity and increased exchangeable potassium. The decrease in the organic matter might be due to the crop residues that were not yet thoroughly decomposed. However, a slight decrease in total N and available phosphorus could be due to heavy rainfall that caused these nutrient elements' leaching. The nitrogen fixed by peanut might have been used up by the peanut plants during vegetative and reproductive stages (Tosas, 1988).

Agronomic Characteristics of Upland Rice

The agronomic characteristics of upland rice var. Zambales intercropped with peanut at different timing of planting are shown in Table 2. Analysis of variance revealed that the different timing of planting upland rice and peanut in an intercropping scheme significantly affected the number of days from sowing to heading and maturity and the height (cm) of upland rice.

Upland rice planted 2 weeks ahead of peanut (T_3) and upland rice + peanut planted simultaneously (T_1) headed earlier than the other treatments. In terms of maturity, T_1 , T_3 , and T_2 (upland rice planted 1 week ahead of peanut) matured earlier than the other treatments. These results can be attributed to the early development of upland rice when it was planted ahead or at the same time with peanut, which resulted in reduced competition with the peanut intercrop for its growth and development.

Table 1.

Soil Chemical Analyses of the Experimental Area Before and After Planting Upland Rice and Peanut Intercrop as Influenced by Timing of Planting

Treatments	Soil pH (1 : 2.5)	OM (%)	Total, N (%)	Avail P (mg/kg)	Exchangeable K (me100/g)
Initial Analysis	6.38	1.324	0.131	19.726	0.68
Final Analysis					
T_1	6.43	1.414	0.114	10.997	1.02
T_2	6.27	1.481	0.111	11.432	0.91
T_3	6.15	1.424	0.117	10.604	0.94
T_4	6.23	1.424	0.120	9.383	0.98
T_5	6.43	0.096	0.096	13.236	0.95
Mean	6.25	1.167	0.129	11.130	0.96

Note: T_1 = upland rice + peanut planted simultaneously; T_2 = upland rice planted 1 week ahead of peanut; T_3 = upland rice planted 2 weeks ahead of peanut; T_4 = peanut planted 1 week ahead of upland rice; T_5 = peanut planted 2 weeks ahead of upland rice.

Table 2.
Agronomic Characteristics of Upland Rice Intercropped with Peanut as Influenced by the Timing of Planting

Treatment	No. of Days from Sowing to		Plant Height (cm)	Leaf Area Index	Fresh Straw Yield (t/ha)
	Heading	Maturity			
T ₁	95.33b	129.33bc	120.80b	4.095a	11.11
T ₂	96.67a	127.33cd	128.75a	2.67c	10.11
T ₃	94.67b	125.33d	129.50a	2.99c	13.90
T ₄	96.67a	132.00a	125.23ab	3.18b	11.13
T ₅	96.67a	131.33ab	131.10a	2.920c	10.05
CV (%)	0.53	1.09	2.25	27.52	12.69

Note: Means with the same and without letters in a column are not significantly different at 5% level of HSD.
T₁ = upland rice + peanut planted simultaneously; T₂ = upland rice planted 1 week ahead of peanut; T₃ = upland rice planted 2 weeks ahead of peanut; T₄ = Peanut planted 1 week ahead of upland rice; T₅ = Peanut planted 2 weeks ahead of upland rice.

On the other hand, when peanuts were planted 1 or 2 weeks ahead of upland rice (T₄ and T₅), the rice plants flowered late and eventually matured late. These results can be attributed to the competition effect between peanut and upland rice when peanut was planted 1 or 2 weeks ahead of upland rice. This finding conformed to Sarcol and Cagasan (2016) study, which showed that the canopy of peanuts planted ahead of sweetpotato covered the main crop during the seedling stage, hindering its photosynthetic activity.

In terms of plant height, upland rice planted 1–2 weeks ahead of peanut (T₂ and T₃) were taller than the upland rice in T₁ (upland rice + peanut planted simultaneously). This is expected since the upland rice in T₂ and T₃ were able to develop ahead of the intercrop. However, results also showed that upland rice planted After 1 or 2 weeks peanut (T₄ and T₅) were also taller than the upland rice in T₁ (upland rice + peanut planted simultaneously). According to Belej et al. (2014), this could be because, in a cereal-legume intercropping scheme, "the cereal component has advanced growth rate, height advantage, and a more widespread rooting system which gives it upper hand in competition with associated legumes."

Yield and Yield Components and Harvest Index of Upland Rice

The yield and yield components and harvest index of upland rice intercropped with peanut at different planting timing are presented in Tables 3 and 4. No significant differences were observed in the yield and yield components except in the weight of panicles/0.50 linear meter. Upland rice in T₅ (peanut planted 2 weeks ahead of upland rice) obtained the heaviest weight of panicles/0.50 linear meter (209.0 g), which was comparable to T₃ (upland rice planted 2 weeks ahead of peanut) with 207.33 g. The results can be attributed to the less competition between the component peanut crop, which was planted 2 weeks before the rice plant. The early development of upland rice enabled it to absorb more nutrients from the soil and capture more solar radiation for the photosynthesis process. On the other hand, in T₅, the planting of peanuts 2 weeks ahead may have allowed the legume to fix nitrogen in the soil, which later became available to the upland rice planted 2 weeks later. According to Fukai et al. (2014), legumes, which include peanuts, and a shared component of an intercrop, and their ability fix nitrogen through rhizobium bacteria that lead to often support the productivity of the intercrop.

Table 3.
Number and Weight (g) of Grains/Panicle, No. of Productive Tillers, Number, and Weight/0.50 Linear Meter of Upland Rice Intercropped with Peanut as Influenced by the Timing of Planting

Treatment	Number of Grains/Panicle		No. of Productive Tillers/0.50 Linear Meter	Panicles/0.50 Linear Meter	
	Filled	Unfilled		Number	Weight (g)
T ₁	200.83	33.57	61.00	67.33	149.00b
T ₂	179.27	34.93	43.00	52.33	151.00b
T ₃	197.30	56.03	51.33	44.33	207.33a
T ₄	180.60	40.20	54.67	55.67	131.00b
T ₅	199.27	25.97	67.00	59.00	209.00a
CV (%)	10.43	40.69	0 18.20	15.85	9.70

Note: Means with the same and without letters in a column are not significantly different at 5% level of HSD.
T₁ = upland rice + peanut planted simultaneously; T₂ = upland rice planted 1 week ahead of peanut; T₃ = upland rice planted 2 weeks ahead of peanut; T₄ = peanut planted 1 week ahead of upland rice; T₅ = peanut planted 2 weeks ahead of upland rice.

Table 4.
Percentage Filled Grains, Weight (g) of 1000 Grains, Grain Yield (t/ha), and Harvest Index of Upland Rice Intercropped with Peanut as Influenced by the Timing of Planting

Treatment	Percentage Filled Grains (%)	Wt. (g) of 1000 Grains	Grain Yield (t/ha)	Harvest Index (HI)
T ₁	85.94	32.87	2.08	0.25
T ₂	83.69	32.67	1.99	0.28
T ₃	78.38	34.87	1.78	0.27
T ₄	81.79	35.77	2.15	0.31
T ₅	82.69	33.83	2.42	0.26
CV (%)	5.68	6.24	21.91	21.91

Note: Means without a letter in a column are not significantly different at 5% level, HSD
T₁ = upland rice + peanut planted simultaneously; T₂ = upland rice planted 1 week ahead of peanut; T₃ = upland rice planted 2 weeks ahead of peanut; T₄ = peanut planted 1 week ahead of upland rice; T₅ = peanut planted 2 weeks ahead of upland rice.

Treatments at T₁, T₂, and T₄ had lighter weights of panicles/0.50 linear meter due to competition between upland rice and peanut when they were planted simultaneously and at a shorter time gap of 1 week. According to Mandal (2014), severe competition for growth factors could result in the low weight of panicle and total grain yield (t/ha).

Agronomic Characteristics of Peanut

The agronomic characteristics of peanut planted at different timing as intercrop to upland rice are shown in Table 5.

Analysis of variance revealed that the different timing of planting the intercrop did not significantly affect peanut's agronomic parameters except in the number of days from sowing to maturity. When peanuts were planted 1 or 2 weeks later than upland rice (T₂ and T₃), it matured later than the other treatments' peanuts. This could be because planting upland rice 1–2 weeks ahead of peanut (T₂ and T₃) caused shading of the peanut intercrop by rice, which hindered the plants' photosynthetic activity. On the other hand, when the peanut was planted ahead of upland rice, as in T₄ and T₅, the plants flowered and matured earlier than the peanuts in the other treatments. This result could be attributed

Table 5. No. of Days from Sowing to Flowering and Maturity, Plant Height (cm), and Fresh Herbage Yield (t/ha) of Peanut Intercrop as Influenced by the Timing of Planting

Treatment	No. of Days from Sowing to		Plant Height (cm)	Fresh Herbage Yield (t/ha)
	Flowering	Maturity		
T ₁	27.67	103.33b	54.90	9.29g
T ₂	28.00	105.00ab	59.43	12.63
T ₃	28.67	109.33a	57.28	14.24
T ₄	27.67	97.67c	59.55	15.15b
T ₅	27.33	5.33c	59.90	12.72
CV (%)	2.97	2.55	5.97S	25.01

Note: Means with the same and without a letter in a column are not significantly different at 5% level, HSD

Note: T₁ = upland rice + peanut planted simultaneously; T₂ = upland rice planted 1 week ahead of peanut; T₃ = upland rice planted 2 weeks ahead of peanut; T₄ = peanut planted 1 week ahead of upland rice; T₅ = peanut planted 2 weeks ahead of upland rice.

to less competition between the upland rice and peanut for growth factors such as light, space, and nutrients. This result conformed to Dordas (2011) findings that the timing of planting is critical to reduce competition between the two crops planted in an association.

Yield and Yield Components of Peanut

The yield and yield components of peanut planted at different timing as intercrop to upland rice are shown in Table 6. Analysis of variance revealed that the different timing of planting the peanut intercrop significantly affected pod yield (t/ha) but not the number and weight of pods per hill and the number of seeds per pod. Peanuts in T₁ (upland rice + peanut planted simultaneously), T₄ (peanuts planted 1 week ahead of upland rice), and T₅ (peanuts planted 2 weeks ahead of upland rice) had comparable yields of 1.40 t/ha, 1.32 t/ha, and 1.47 t/ha, respectively, which were significantly higher than the yields of peanuts in T₂ (peanuts planted 1 week later than upland rice) and T₃ (peanuts planted 2 weeks later than upland rice).

This means that planting peanuts either at the same time or 1–2 weeks ahead of upland rice can give better pod yield than planting it later than upland rice. This could be because under these

Table 6. Number of Pods Per Hill, Seeds Per Pod, Weight (g) of Pods, and Seeds Per Hill of Peanut Intercrop as Influenced by the Timing of Planting

Treatment	No. of Pods/ Hill	No. of Seeds/Pod	Weight (g) of Pods/Hill	Pod Yield (t/ha)
T ₁	15.83	2.80	32.90	1.40a
T ₂	18.23	3.03	39.23	1.03bc
T ₃	19.77	2.70	36.20	0.89c
T ₄	19.47	2.97	39.90	1.32ab
T ₅	21.23	2.93	41.53	1.47a
CV%	15.99	15.51	30.60	24.63

Note: Means with the same and without a letter in a column are not significantly different at 5% level, HSD

Note: T₁ = upland rice + peanut planted simultaneously; T₂ = upland rice planted 1 week ahead of peanut; T₃ = upland rice planted 2 weeks ahead of peanut; T₄ = peanut planted 1 week ahead of upland rice; T₅ = peanut planted 2 weeks ahead of upland rice.

Table 7. LER and ATER of Upland Rice and Peanut Intercropping as Influenced by the Timing of Planting

Treatment	LER	ATER
T ₁ —upland rice+ peanut planted simultaneously	1.36	1.77
T ₂ —upland rice planted 1 week ahead than peanut	0.96	1.22
T ₃ —upland rice planted 2 weeks ahead than peanut	0.97	1.31
T ₄ —peanut planted 1 week ahead than upland rice	1.34	1.79
T ₅ —peanut planted 2 weeks ahead than upland rice	1.50	2.02

Note: LER = land equivalent ratio; ATER = area time equivalent ratios.

intercropping schemes, peanuts experience lesser competition with upland rice in space, solar radiation, utilization of nutrients in the soil, and other growth factors since it was planted ahead of upland rice (Alcober et al., 2014).

Land Equivalent Ratio

As shown in Table 7, T₁ (upland rice + peanut planted simultaneously), T₄ (peanuts planted 1 week ahead of upland rice), and T₅ (peanuts planted 2 weeks ahead of upland rice) had LER values of more than 1.0, which means that these intercropping schemes have yield advantage than monocropping (Jeruto 2017). For instance, the highest LER value of 1.50 obtained from T₅ means that 50% more land (5000 m²) is needed in monoculture to give the same combined yield of upland rice and peanut under this intercropping system. These results suggest that upland rice and peanut planted simultaneously and the planting of peanuts 1–2 weeks ahead of upland rice can be the more appropriate timing of planting for optimum crop production. These results confirmed Ndunguro et al.'s (1980) findings that growing crops in an association is more productive than using the crop in pure stand. The advantage of planting peanuts ahead of rice can be explained by the ability of peanuts to fix nitrogen in the soil, making it available for use by upland rice, which is planted later (Fukai, 1993 as cited by Belel et al., 2014).

Area Time Equivalent Ratio

The area time equivalent ratios (ATERS) of the different upland rice-peanut intercropping treatments are also shown in Table 7. It can be observed that all treatments had ATER values of more than 1.0. This means that considering the time taken by component crops, all of the intercropping schemes considered in this study have a yield advantage over monocropping. Consistent with the LER computation results, T₅, T₄, and T₁ had ATER values higher than T₂ and T₃. This suggests that planting upland rice and peanut simultaneously (T₁), and planting peanuts 1–2 weeks ahead of upland rice may be the appropriate timing of planting the component crops to maximize crop yield per unit area per unit time. Again, the advantage of planting peanuts ahead of rice can be explained by the ability of peanuts to capture atmospheric nitrogen through rhizobium bacteria in the soil, making it available for use by upland rice that is planted later (Sarcol & Cagasan, 2016). Also, when peanuts are planted ahead of rice, it can be harvested earlier, freeing the upland from competition as it continues to fully develop its grains, resulting in higher grain yield.

Incidence of Insect Pest Infestation in Peanut

Table 8 shows the ratings for the insect pest infestation in peanuts 45 days after emergence. It can be observed that T₅ had the least pest infestation rating of 1.0, which causes leaf damage of 1%–20%. T₂ and T₄ had the highest pest infestation rating of 2.0,

Table 8.
Incidence of Insect Pest Infestation in Peanut Planted at Different Timing of Planting as Intercrop to Upland Rice

Treatment	Ratings
T ₁ —upland rice + peanut planted simultaneously	1.67
T ₂ —upland rice planted 1 week ahead than peanut	2.00
T ₃ —upland rice planted 2 weeks ahead than peanut	1.33
T ₄ —peanut planted 1 week ahead than upland rice	2.00
T ₅ —peanut planted 2 weeks ahead than upland rice	1.00

which was equivalent to 21%–40% leaf damage. However, the plants in T₂ and T₄ were able to recover as the plants grow older.

Legend: Ratings

Damage Index	Percent (%) Leaf Damage	Reaction
1	1–20	Highly resistant
2	21–40	Moderately resistant
3	41–60	Moderately susceptible
4	61–80	Susceptible
5	81–100	Highly susceptible

Cost and Return Analysis

Table 9 presents the cost and return of upland rice intercropped with peanut as influenced by different timing of planting. Among the intercropping schemes, T₅ (peanut planted 2 weeks ahead of upland rice) gave the highest combined gross margin of Php86,867.02/ha. It was followed by T₁ (upland rice + peanut planted simultaneously) with a combined gross margin of Php76,822.02 and T₄ with a combined gross margin of Php73,232.02/ha. Rice monoculture had the lowest gross margin of Php24,682.14, while peanut monoculture had the highest gross margin of Php90,524.88. The high gross margin of peanut monoculture could be attributed to the high market price of peanut. However, if the purpose is to produce rice for food and at the same time to earn income from intercrop

Table 9.
Cost and Return Analysis Per Hectare of Upland Rice and Peanut Intercropping as Influenced by Timing of Planting

Treatment	Yield (t/ha) Upland Rice Peanut		Gross Income (PhP)	Total Variable Cost (PhP)	Gross Margin (PhP)
	Grain	Pods			
MCR	3.50	-	63,000.00	38,317.86	24,682.14
MCP	-	1.80	126,000.00	35,475.12	90,524.88
T ₁	2.08	1.40	135,440.00	58,617.98	76,822.02
T ₂	1.37	1.03	96,760.00	56,867.98	39,892.02
T ₃	1.68	0.89	92,540.00	56,367.98	36,178.02
T ₄	2.15	1.32	131,100.00	57,867.98	73,232.02
T ₅	2.42	1.47	146,460.00	59,867.98	86,867.02

Note: Calculation of gross income is based on the current price of dried palay at PhP 18/kg and peanut at PhP 70/ kg.

MCR = monoculture rice; MCP = monoculture peanut; T₁ = upland rice + peanut planted simultaneously; T₂ = upland rice planted 1 week ahead of peanut; T₃ = upland rice planted 2 weeks ahead of peanut; T₄ = peanut planted 1 week ahead of upland rice; T₅ = peanut planted 2 weeks ahead of upland rice.

is desired, planting peanuts 2 weeks ahead of upland rice may be a good option as it gave the second-highest gross margin of Php86,867.02/ha.

Conclusion and Recommendations

Timing of planting the intercrops can significantly influence some of the agronomic yield and yield characteristics of upland rice and peanuts. The number of days from sowing to heading and maturity, plant height, and weight of panicles/0.50 linear meter were increased when the upland rice was planted ahead of peanut intercrop. This allowed the rice plants to grow taller and mature earlier but planting upland rice 2 weeks later than peanut enabled it to have a heavier weight of panicles/0.50 linear meter. Peanuts planted 1–2 weeks ahead of rice (T₄ and T₅) matured earlier and had higher pod yield (t/ha) than those planted simultaneously or later than upland rice.

In upland rice–peanut intercropping scheme, planting peanut intercrop 1–2 weeks ahead of upland rice or at the same time with upland rice appeared to be the most appropriate timing of planting the component crops. Although the crop yield (upland rice) did not significantly differ among treatments, peanuts produced significantly higher pod yields than the peanuts planted later than rice. These resulted in a higher combined yield of the two-component crops. Among the intercropping treatments, planting peanuts 2 weeks ahead of upland rice is the most profitable timing of planting the component crops as it gave the highest gross margin of Php 86,867.02.

Recommendations

Considering the results of this study, the following recommendations are put forward:

1. To obtain an optimum combined production and profit of upland rice and peanut under an intercropping scheme, peanut may be planted 1–2 weeks ahead of upland rice or simultaneously with upland rice.
2. To verify further, the results of this study at the same level of management especially the same planting distance with monocrop and the intercropping scheme.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Author Contributions: Concept – J.A., U.C.; Design – J.A., U.C.; Supervision – U.C.; Resources – J.A., U.C.; Data Collection and/or Processing – J.A.; Analysis and/or Interpretation – J.A.; Literature Search – J.A.; Writing Manuscript – J.A.; Critical Review – U.C.

Declaration of Interests: The authors declare that they have no competing interest.

Funding: The authors declare that this study had received no financial support.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Yazar Katkıları: Fikir – J.A., U.C.; Tasarım – J.A., U.C.; Denetleme – U.C.; Kaynaklar – J.A., U.C.; Veri Toplanması ve/veya İşlemesi – J.A.; Analiz ve/veya Yorum – J.A.; Literatür Taraması – J.A.; Yazıyı Yazan – J.A.; Eleştirel İnceleme – U.C.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Finansal Destek: Yazarlar, bu çalışma için finansal destek almadıklarını beyan etmişlerdir.

References

Alcober, E. L., Ratilla, M. D., Capuno, O. B., & Valenzona, J. S. (2014). Evaluation of different cropping systems for marginal uplands in Inopacan,

- Leyte. Visayas state university Visca, Baybay City, Leyte. *Annals of Tropical Research*, 36, 124–138.
- Daniel, H. S. (2004). Weed management under different patterns of sunflower-soybean intercropping. *Journal of Central European Agriculture*, 10(1), 41–52.
- Dhima, K. V., Lithourgidis, A. S., Vasilakoglou, I. B., & Dordas, C. A. (2007). Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. *Field Crops Research*, 100(2–3), 249–256. [\[CrossRef\]](#)
- Dordas, A. R. (2011). Intercropping: Land equivalent ratios, light interception, and water use in annual intercrops in the presence or absence of in-crop herbicides. *American Agronomy Journal*, 100, 1145–1154.
- Jeruto, S. L. (2017). Structure of weed communities occurring in monoculture and intercropping of field pea and barley. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 109, 48–58
- Landon, J. R. (1991). *Booker tropical soil manual* (p. 478). Longman Scientific and Technical/Booker Tate.
- Mandal, K. M. (2014). Evaluation of cereal-legume intercropping systems through productivity and competition ability. *Asian Journal of Science and Technology*, 5(3), 233–237.
- NCT Manual for Rice, (2008). *Guidelines in conducting National Cooperative Testing in Field Legumes. Field legumes Technical Working Group*. BPI – Bureau of Plant Industry. Revised 2014.
- Ndunguru, B. S., Karel, A. K., & Lakhani, D. A. (1980). Intercropping maize on cowpea effect of plant population on insect pest and seed yield. *Proceedings of the on semi-arid areas Mongro* (pp. 102–109), Tanzania.
- Sarcol, B. P., & Cagasan, U. A. (2016). Performance of Peanut (*Arachis hypogaea*) as Influenced by Time of Planting Sweetpotato (*Ipomea batatas*L.) as intercrop. *Annals of Tropical Research*, 38, 122–133.
- Tosas, D. M. (1988). *Performance of sweet corn at the varying time of mungbean intercropping* [Undergrad Thesis] (pp. 20). LSU, VISCA, Baybay Leyte.
- Zhang, F. N., & Long, A. L. (2003). Using competitive and facilitative interactions in the intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency. *Plant and Soil*, 248, 305–312.

Total Costs, Labor Requirements, and Work Efficiencies in Rice Production Mechanization in Turkey: A Case Study From Samsun Province

Türkiye’de Çeltik Üretim Mekanizasyonunda Toplam Masraflar, İşgücü Gereksinimleri ve İş Başarıları: Samsun İli Örneği

Hasret TÜNER¹ 

Taner YILDIZ² 

¹Ministry of Industry and Technology, Automotive Assistant Specialist, Ankara, Turkey

²Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering, Ondokuz Mayıs University, Faculty of Agriculture, Samsun, Turkey

ABSTRACT

Rice has an important place in Turkey’s economy and human nutrition. Bafra town of Samsun province is one of the luckiest provinces in terms of rice production potential in Turkey. It takes second place among provinces in our country in terms of rice cultivation area and production amount. It is necessary to pay attention to agricultural machinery operation to use inputs in optimum as it comprises a significant share of inputs used for plant production like seeds, fertilizer, pesticides, and mechanization. This study was carried out to determine the total costs, labor requirements, and work efficiencies in the rice production mechanization by survey method in Bafra county of Samsun province in 2018. The data obtained through face-to-face questionnaires applied to previously determined businesses were evaluated. According to the results, the total variable and fixed costs are calculated as 4036.40 and 6229.90 TLha⁻¹. The share of variable and fixed costs in total production costs was determined as 60.68% and 39.32%, respectively. Among the variable costs, the highest share was obtained by harvesting (13.12%) and tillage costs (6.93%). The highest share in the fixed costs was land hire (22.46%). The highest and the lowest labor requirements were found for tillage (4.52 hha⁻¹) and for the drying process (0.87 hha⁻¹). The highest work efficiency was obtained for the drying process (1.15 hah⁻¹). In particular, it was emphasized that variable costs can be reduced by good mechanization planning, which can lead to more profitable production with the effective use of agricultural machinery.

Keywords: Labor requirement, mechanization, rice, total cost, work efficiency

ÖZ

Çeltik, Türkiye ekonomisinde ve insan beslenmesinde önemli bir yere sahiptir. Samsun ili Bafra ilçesi, Türkiye’nin çeltik üretim potansiyeli açısından en şanslı illerinden biridir. Ülkemizde iller arasında çeltik ekim alanı ve üretim miktarı açısından ikinci sırada yer almaktadır. Bitkisel üretimde kullanılan tohum, gübre, zirai ilaç ve mekanizasyon gibi girdiler, önemli bir bölümü oluşturduğu için bu girdilerin optimum düzeyde kullanılması için tarım makineleri işletmeciliğine dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu çalışma, 2018 yılında Samsun ili Bafra ilçesinde çeltik üretim mekanizasyonunda anket yöntemi ile toplam masrafların, işgücü gereksinimlerinin ve iş başarılarının belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Daha önce belirlenen işletmelere uygulanan yüz yüze anket yoluyla elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre, toplam değişken ve sabit maliyetler sırasıyla 4036,40 ve 6229,90 TLha⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Değişken ve sabit masrafların toplam üretim masrafları içindeki payı sırasıyla %39,32 ve %60,68 olarak olmuştur. Değişken maliyetler içinde en yüksek payı hasat (%13,12) ve toprak işleme masrafları (%6,93) almıştır. Sabit masraflar içinde en yüksek pay, arazi kiralama olmuştur (%22,46). En yüksek ve en düşük işgücü gereksinimleri toprak işleme (4,52 hha⁻¹) ve kurutma işlemi (0,87 hha⁻¹) için bulunmuştur. En yüksek iş başarısı ise, kurutma işleminde (1,15 hah⁻¹) elde edilmiştir. Özellikle iyi bir mekanizasyon planlaması ile değişken masrafların düşürülebileceği, bunun da tarım makinelerinin etkin kullanımı ile daha karlı üretime yol açabileceği vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: İş gücü gereksinimi, mekanizasyon, çeltik, toplam masraf, iş başarısı

This study was the part of Master’s Thesis dissertation of the first author.

Geliş Tarihi/Received: 20.05.2022

Kabul Tarihi/Accepted: 08.09.2022

Yayınlanma Tarihi/Publication Date:

30.01.2023

Sorumlu Yazar/Corresponding Author:

Taner YILDIZ

E-mail: tyildiz@omu.edu.tr

Cite this article as: Türer, H., & Yıldız, T. (2023). Total costs, labor requirements, and work efficiencies in rice production mechanization in Turkey: A case study from samsun province. *Research in Agricultural Sciences*, 54(1), 9-14.



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

Introduction

One of the most important nutritional sources for humanity is rice (*Oryza sativa* L.) which meets 80% of the calorie requirements of nearly half the world. The countries with the most rice production in the world are China, India, Indonesia, and Bangladesh in that order. Rice has the second-highest cultivation area and the highest production amounts after wheat in the warm climate cereals. Turkey is a very available country in terms of rice cultivation climatically. May be cultivated in all regions in Turkey. In terms of the highest cultivation area and production amounts, the Marmara region is in first place followed by the Black Sea region. The two regions exceed 90% of total production amounts. Table 1 shows the rice cultivation areas, production amounts, and yield status for the last 10-year period in Turkey according to Turkish Statistical Institute data.

When Table 1 is investigated, the rice cultivation area was 99.500 hectares in 2008 and reached 118.000 hectares by 2018. The highest cultivation area is located in the Marmara region. The Black Sea region follows this (Anonymous, 2019b). Edirne province alone meets more than 40% of the total production amount and cultivation area. Samsun province comes second after Edirne. Samsun has nearly 15% of the country's cultivation area with 18,056.40 hectares and 14% of production amount at 133.821 tonnes (Akay et al., 2017; Anonymous, 2016, 2019b).

Rice Agriculture in Samsun Province and Bafra County

Samsun province is one of the luckiest provinces in terms of rice production potential. Samsun takes second place among provinces in our country in terms of rice cultivation area and production amount. Rice production is performed by 3401 agricultural enterprise at 8 counties and 146 villages. Suitable areas for rice agriculture include 19 Mayıs, Bafra, Alaçam, and Yakakent counties in Bafra Plain and Çarşamba, Terme, Tekkeköy, and Salıpazarı counties in Çarşamba Plain. Of production, 86.70% comes from Bafra Plain. Edirne-Ipsala takes the first place and Samsun-Bafra takes the second place among the 15 districts of producing rice in Turkey. The share of rice agriculture reaches nearly 13.60% of plant production value for Samsun province (Anonymous, 2019a). This research aimed to determine the labor requirements, work

efficiencies, and total costs for mechanization operations in rice cultivation in Bafra Plain, one of Turkey's most important plant production areas.

Samsun province located in the Central Black Sea region where the Yeşilirmak and Kızılırmak rivers flow into the Black Sea has 958.000-hectare area. Of this, nearly 104.000 operations perform agricultural production covering nearly 47% of this area. The research was completed with operations in the plain section of Bafra county in Samsun located on the broad delta formed by rich alluvium soils deposited by the Kızılırmak River (Figure 1).

The Bafra Plain is nearly 40 km in length and 20 km in width and is the largest plain in the Black Sea region. The elevation is 17 m above sea level and it is located between 41°38'23" north and 35°59'7" east. It is 50 km from the provincial center of Samsun. The area of the Bafra Plain, formed entirely by the Kızılırmak, is 145,700 hectares. The county has a typical Black Sea climate with cool summers and mild and wet winters. The dominant wind in Bafra reduces humidity in the air with annual mean relative humidity values above 70%. Annual rainfall is 750–1000 mm. The coastal area has low snowfall which does not last long. The coldest months in the province are January and February based on mean values for many years, with the hottest month being August. Nearly 40% of the total land area is used for agriculture. Of the total agricultural area in Samsun province, Bafra comprises nearly 17% (Anonymous, 2018).

Methods

Determination of Producers to be Surveyed

Of a total of 2212 licensed producers in Bafra county where the research was completed, the simple random sampling method was applied and 328 operations were identified to complete the survey (Yıldız & Bircan, 1994). Surveys were completed by meeting producers face-to-face. Additionally, the Republic of Turkey Ministry of Agriculture and Forestry statistics and previous studies were used.

Determination of Rice Production Costs

It is necessary to pay attention to physical amounts and unit prices when calculating the variable costs related to plant production activities. The physical input information related to these costs may be obtained from the operator or accountancy records, research results from the region, or from information collected directly from agricultural operations via the survey (Kıral et al., 1999). Input amounts related to fuel, oil, fertilizer, seed and pesticide related to machinery used in mechanization applications from tillage to transport and storage, related unit prices and unit manpower and labor prices were determined in the region. Fixed costs include interest, depreciation, and taxes-village common expenses (Dinçer, 1976).

Determination of Labor Requirements and Work Efficiencies

Values related to labor requirements and work efficiency obtained from the surveys were assessed and classified into three sections. Later, they were grouped according to the standard parcel (hha⁻¹) and as follows (Beyhan & Pınar, 1996; Kadayıfçılar & Dinçer, 1972; Yıldız, 2000, 2016).

- (1) Basic time (BT):
 - (a) Basic time to tillage ($t_B T_1$),
 - (b) Basic time to leveling ($t_B T_2$),
 - (c) Basic time to making levee ($t_B T_3$),
 - (d) Basic time to seeding ($t_B T_4$),

Table 1.
Harvested Areas, Production Amounts, and Yield of Rice Production According to Years in Turkey (Tonnes, t)

	Harvested Area (ha)	Production Amount (t)	Yield (kg ha ⁻¹)
2008	99.500	753.000	7570
2009	96.754	750.000	7750
2010	99.000	860.000	8690
2011	99.400	900.000	9050
2012	119.725	880.000	7350
2013	110.592	900.000	8140
2014	110.884	830.000	7640
2015	115.856	920.000	7940
2016	116.046	920.000	7930
2017	110.000	900.000	8180
2018	118.100	940.000	7960

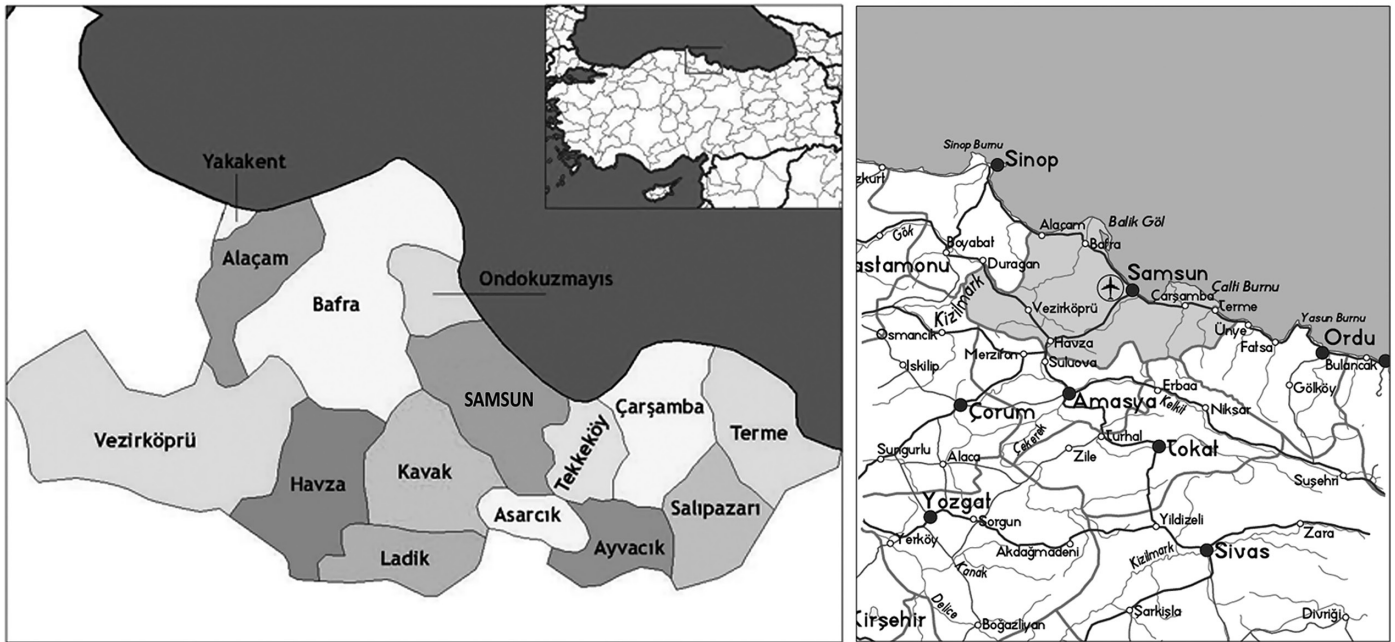


Figure 1.
Location of Bafra in Turkey (Yıldız, 2016).

- (e) Basic time to fertilizing (t_{B,T_5})
 (f) Basic time to spraying (t_{B,T_6}),
 (g) Basic time to irrigation (t_{B,T_7}),
 (h) Basic time to harvesting with combine harvester (t_{B,T_8}),
 (i) Basic time to transportation (t_{B,T_9}),
 (j) Basic time to drying ($t_{B,T_{10}}$).
- (2) Auxiliary time (AT): Necessary time spent was found by combining a variety of time segments (hha^{-1}). Auxiliary time was classified into subsections for standard parcels (Yıldız, 2000). These are as follows:
- (1) Unavoidable time losses (UTL).
 (a) Auxiliary time to tillage (t_{A,T_1}),
 (b) Auxiliary time to leveling (t_{A,T_2}),
 (c) Auxiliary time to making levee (t_{A,T_3}),
 (d) Auxiliary time to seeding (t_{A,T_4}),
 (e) Auxiliary time to fertilizing (t_{A,T_5})
 (f) Auxiliary time to spraying (t_{A,T_6})
 (g) Auxiliary time to irrigation (t_{A,T_7}): It isn't included in the calculation.
 (h) Auxiliary time to harvesting with combine harvester (t_{A,T_8})
 (i) Auxiliary time to transportation (t_{A,T_9})
 (j) Auxiliary time to drying ($t_{A,T_{10}}$)

The arithmetic means of the necessary time requirements belonging to all mechanization processings were taken from questionnaires and results were analyzed. To calculate labor requirements and work efficiencies, arithmetic means of measurements of the time segments for each process were used. To determine work efficiency in the field, effective working time (EWT) was noted. To determine the EWT, BT and AT were added to calculate the principal time (PT) (Beyhan & Pinar, 1996; Yıldız, 2016).

$$PT = BT + AT \left(\text{hha}^{-1} \right) \quad (1)$$

Effective working time was calculated from the following equation.

$$EWT = BT + AT + UTL \left(\text{hha}^{-1} \right) \quad (2)$$

Unavoidable time loss (UTL) was determined as a percentage of the PT obtained by adding BT and AT (Beyhan & Pinar, 1996; Caran, 1994; Yıldız, 2016, 2000).

$$UTL = \frac{P}{100} PT \left(\text{hha}^{-1} \right) \quad (3)$$

where,

P is a multiplication factor showing variations according to the machine used and labor power. In this study, P was 1 for labor power, while for machine power P was 6 (Beyhan 1996; Beyhan & Pinar, 1996; Caran, 1994; Yıldız, 2000; Yıldız & Tekgüler, 2012).

The working efficiency per unit area (WPA) in the study with the different operations was determined with the following equation linked to the EWT.

$$WPA = \frac{1}{EWT} \left(\text{hah}^{-1} \right) \quad (4)$$

The utilization coefficient of time (UC_z) was calculated from the following equation using EWT and BT.

$$UC_z = \frac{BT}{EWT} 100(\%) \quad (5)$$

Results and Discussion and Conclusion and Recommendations

Findings Related to General Features

The general characteristics of rice operations surveyed in Bafra county are given in Table 2. When Table 2 is investigated, 40.14%

Table 2.
General Features of Rice Producers

	Smallest	Largest	Mean	Standard Deviation
Age	27	65	50.05	9.42
Experience	8	40	18.90	10.07
Population	3	12	6.25	2.55
Education (%)				
Primary school (%)	-	-	50	-
High school (%)	-	-	40	-
College (%)	-	-	10	-
Total agricultural land (da)	44	600	236.95	153.32
Irrigated land (da)	22	340	141.35	95.08
Rice fields (da)	20	300	95.10	69.64
Number of parcels	1	7	3.00	1.75

of the mean agricultural land (95.10) comprised rice fields. The investigated operations had generally low land management with rents and brokerage, with mean number of parcels identified as three. Educational level was primary school for 50%, high school for 40%, and college for 10% (Table 2). The operations displayed differences in terms of rice yield, techniques, and methods used with operations yielding a mean of 9027.30 kg ha⁻¹ (Table 3).

Findings Related to Costs of Rice Production Mechanization

The rice cost and profitability table were organized according to unit area (ha) and given in Table 3. Accordingly, 39.32% of total production costs for rice production are variable, while 60.68% comprise fixed costs. Within variable costs, the highest costs are harvest costs at 13.12%, while the lowest costs were irrigation labor at 0.24%. The differences between variable costs and fixed costs may be explained by not many procedures being performed externally for a price within agricultural equipment and machinery costs and the farmers undertaking costs of agricultural equipment and machinery they own. As a result, in this research, nearly 10.99% of fixed costs comprised fixed costs related to tools-machinery (depreciation, insurance, interest, taxes-release protection). Within fixed costs, 22.46% was land rental, while 19.48% was family labor fees.

The costs of tillage were 711.30 TLha⁻¹ and leveling processes were highest at 536.40 TLha⁻¹. As the preparation of pan or levee costs 95.90 TLha⁻¹, seeding 118.10 TLha⁻¹, fertilizer 135.90 TLha⁻¹, pesticides 200.30 TLha⁻¹, harvest 1346.60 TLha⁻¹ and transportation costs 119.90 TLha⁻¹ were calculated. The unit cost of the product was calculated as 1.13 TLkg⁻¹ (Table 3). In a study in which the operating costs for rice cultivation with iron wheel tractors, it was determined that the total variable costs 7.35 and 7.95 TLha⁻¹ with mechanical cultivation at 540 and 540E PTO speeds, respectively. In the same study, total variable costs were obtained as 48 TLha⁻¹ with manual seeding. (Çiçek & Sümer, 2009). Cost analyses were performed according to gross profit in trials about the production of second fodder silage maize production with four different tillages and seeding methods of stalk shredder+heavy spring-tine cultivator+seeder (T1), stalk shredder+rototiller+seeder (T2), stalk shredder+chisel plow+Goble disk+seeder (T3), and plow+Goble disk+seeder (T4). The highest gross profit was obtained with T4 method at 4824.03 TLha⁻¹, followed by T3 at 4697.92 TLha⁻¹, T1 at 4436.88 TLha⁻¹, and T2 at 4328.47 TLha⁻¹ (Baran et al., 2014).

Table 3.
Costs and Profitability of Mechanization of Rice Production

Variable Costs (VC)	Mean (TLha ⁻¹)	Percentage
Tillage	711.30	6.93
Leveling	536.40	5.22
Pan creation (Making levee)	95.90	0.93
Seeding	118.10	1.15
Fertilizing	135.90	1.32
Spraying	200.30	1.95
Harvesting*	1346.60	13.12
Transportation and marketing	119.90	1.17
Irrigation costs	502.60	4.90
Irrigation labor costs	25.10	0.24
Drying	111.40	1.09
Interest on variable costs (circulating capital interest)**	132.90	1.29
Total variable costs	4036.40	39.32
Fixed costs (FC)	Mean (TLha ⁻¹)	Percentage (%)
General administrative expenses***	121.10	1.18
Family labor cost equivalent	2000.00	19.48
Land rental	2305.50	22.46
Depreciation	897.50	8.74
Capital interest	174.80	1.70
Repair-maintenance	500.00	4.87
Taxes-village common expenses	115.90	1.13
Insurance (TLYear ⁻¹)	115.10	1.12
Total fixed costs	6229.9	60.68
Total costs (production costs, PC)	10,266.3	100.00
Yield (kg ha ⁻¹)	9027.30	
Price (TL)	2.60	
Gross agricultural production value (GAPV)	23,471.00	
Gross profit (GAPV-VC)	19,434.60	
Net profit (GAPV-PC)	13,204.70	
Relative profit (GAPV/PC)	2.29	
Unit cost (TLkg ⁻¹)	1.13	

Republic of Turkey Central Bank January 2018 interest: 13.62, Republic of Turkey Central Bank January 2018 inflation: 12.14, reel interest rate: 1.48.
Tractor depreciation: 0.0416 (Turkish Agricultural Tools and Machinery Manufacturers Association, 2018).
Other tools-machinery depreciation (Republic of Turkey Directorate of Revenue Management, 2018): -0.2.
Building depreciation (Republic of Turkey Directorate of Revenue Management, 2018): -0.02.
*Taken as 4–6% of the harvested product amount. In this study, harvest costs were taken as 5% of the obtained product amount.
**Variable cost interests (circulating capital interest): represents production cost interest and opportunistic costs. Simply, if the production input amounts had been used in an alternative area, a certain amount of interest income would have been obtained. The use of these inputs in production means interest income is not received. As a result, it is necessary to assess this as a cost (Kiral et al., 1999).
***General administrative outgoings: taken as 3% of variable costs.

Findings Related to Labor Requirements and Work Efficiencies

The values of basic, auxiliary and effective times were obtained by surveys. Then area work efficiency was converted as the standard plot of 1 ha (66.67 m × 150 m) and given in Table 4. Here, total

Table 4.
Labor requirements and Area Work Efficiency Needed for Rice Production Mechanization

Tillage	Leveling	Making Levee	Seeding	Fertilizing	Spraying	Harvest	Drying	Transport	Total
t_{bT_1} (hha ⁻¹)	t_{bT_2} (hha ⁻¹)	t_{bT_3} (hha ⁻¹)	t_{bT_4} (hha ⁻¹)	t_{bT_5} (hha ⁻¹)	t_{bT_6} (hha ⁻¹)	t_{bT_8} (hha ⁻¹)	t_{bT_9} (hha ⁻¹)	$t_{bT_{10}}$ (hha ⁻¹)	$\sum BT = 15.21$ (hha ⁻¹)
t_{aT_1} (hha ⁻¹)	t_{bT_1} (hha ⁻¹)	t_{bT_1} (hha ⁻¹)	t_{bT_1} (hha ⁻¹)	t_{bT_1} (hha ⁻¹)	t_{aT_6} (hha ⁻¹)	t_{aT_8} (hha ⁻¹)	t_{aT_9} (hha ⁻¹)	$t_{aT_{10}}$ (hha ⁻¹)	$\sum AT = 2.68$ (hha ⁻¹)
PT ₁ (hha ⁻¹)	PT ₂ (hha ⁻¹)	PT ₃ (hha ⁻¹)	PT ₄ (hha ⁻¹)	PT ₅ (hha ⁻¹)	PT ₆ (hha ⁻¹)	PT ₈ (hha ⁻¹)	PT ₉ (hha ⁻¹)	PT ₁₀ (h/ha)	$\sum PT = 17.89$ (hha ⁻¹)
UTL ₁ (hha ⁻¹)	UTL ₂ (hha ⁻¹)	UTL ₃ (h/ha)	UTL ₄ (h/ha)	UTL ₅ (h/ha)	UTL ₆ (h/ha)	UTL ₈ (hha ⁻¹)	UTL ₉ (hha ⁻¹)	UTL ₁₀ (h/ha)	$\sum UTL = 1.07$ (hha ⁻¹)
EWT ₁ (hha ⁻¹)	EWT ₂ (hha ⁻¹)	EWT ₃ (hha ⁻¹)	EWT ₄ (hha ⁻¹)	EWT ₅ (hha ⁻¹)	EWT ₆ (hha ⁻¹)	EWT ₈ (hha ⁻¹)	EWT ₉ (hha ⁻¹)	EWT ₁₀ (hha ⁻¹)	EWT = 18.96 (hha ⁻¹)
WPA ₁ (hah ⁻¹)	WPA ₂ (hah ⁻¹)	WPA ₃ (hah ⁻¹)	WPA ₄ (hah ⁻¹)	WPA ₅ (hah ⁻¹)	WPA ₆ (hah ⁻¹)	WPA ₈ (hah ⁻¹)	WPA ₉ (hah ⁻¹)	WPA ₁₀ (hah ⁻¹)	
UCz ₁ (%)	UCz ₂ (%)	UCz ₃ (%)	UCz ₄ (%)	UCz ₅ (%)	UCz ₆ (%)	UCz ₈ (%)	UCz ₉ (%)	UCz ₁₀ (%)	
	72.57	87.25	81.58	56.76	75.56	70.41	94.34	63.22	94.34

PT, Principal Time; EWT, Effective Working Time; UTL, Unavoidable Time Loss; UCz, Utilization Coefficient of Time; WPA, Working Efficiency Per Unit Area.

values for BT, ATs, and lost time and BT and EWT from tillage to drying and transport processes are given in the rightmost column. The coefficient values based on efficiency per area and time of procedures are given in the lowermost two rows.

In Table 4, the highest BT for procedures is for leveling (3.90 hha⁻¹), with lowest BT for drying (0.55 hha⁻¹). The lowest AT was determined for pan creation or levee-making (0.15 hha⁻¹) and for fertilizing (0.17 hha⁻¹). The lowest UTL was 0.05 hha⁻¹ for fertilizing and drying. Again, from Table 4, the highest EWT was for tillage (4.51 hha⁻¹) with lowest EWT identified for drying processes (0.87 hha⁻¹). When assessed in terms of area work efficiency, the highest value was 1.14 hah⁻¹ for the drying process. A study about work efficiency in vetch production under wet and dry agriculture conditions in Erzurum found the unit time for tillage-seeding had labor force requirements of 0.13 hah⁻¹ with traditional methods, while direct seeding methods were 12 times greater (1.60 hah⁻¹). It was determined that the machine labor force required 8.17 hah⁻¹ in the traditional method, while the direct seeding method required five times less time (1.63 hha⁻¹) (Gözübüyük et al., 2017). Another research determining the work efficiency in wheat agriculture determined work efficiency as machine labor-hour and human labor-hour and identified that machine labor-hour for three-cylinder plow was 3.38 hha⁻¹ and human labor-hour work efficiency was 3.63 hha⁻¹, while for two-cylinder plow, machine labor-hour work efficiency was 4.89 hha⁻¹ and human labor-hour work efficiency was 5.36 hha⁻¹. For duplexing, machine labor-hour value was 1.14 hha⁻¹ with human labor-hour work efficiency of 1.22 hha⁻¹, while for seeding, the same values were identified as 5.34 and 5.78 hha⁻¹, respectively. For fertilizing, these values were found to be 0.16 and 0.18 hha⁻¹, respectively (Özden, 1991).

Trials were held for second fodder silage maize production with four different tillages and seeding methods of stalk shredder+heavy spring-tine cultivator+seeder (T1), stalk shredder+rototiller+seeder (T2), stalk shredder+chisel plow+Goble disk+seeder (T3), and plow+Goble disk+seeder (T4). Mean work efficiency was highest at 4.91 hah⁻¹ with T3 tillage system, while it was calculated as 3.56 hah⁻¹ for T1, 3.64 hah⁻¹ for T4, and 3.70 hah⁻¹ for T2 (Baran et al., 2014).

After seeding (56.86%), the lowest time benefit coefficients were for drying (62.93%) and pesticide procedures (70.94%). The low time benefit coefficient for seeding is due to relatively small fertilizer stores and losses due to fertilizer filling and returns. In addition to the small pesticide storage volumes and working widths of field sprayers used for pesticides, disruptions during the preparation of pesticide doses cause a low level of time benefit coefficient. In another study on wheat agriculture, it was stated that the work should be completed in a shorter time to reduce the need for machinery and human labor in order to increase work efficiency. Therefore the machines used should have wider working widths and higher working speeds, and the working speed could be increased. It has been emphasized that the use of machines with more than one working combination and the experience, skills, planning and organizational skills of the person using the machine affect work efficiency (Özden, 1991).

The highest time benefit coefficient was for transport processes (94.34%). The reason for the high work efficiency of transport processes may be explained by drying and storage facilities being close to the fields and good planning. Additionally, dual-axis agricultural wagons used to transport material have elevated bodies, in

other words, have increased carrying capacity which may have led to the high time benefit coefficient for transport processes. A study about transport processes forming an important link in the chain of maize silage production mechanization in the Trakya region identified that only one operation was sufficient in terms of transport techniques with transport wagons (Kayışoğlu & Tan, 1994).

Turkey has very suitable conditions in terms of rice production. However, mechanization processes applied in production have still not reached desired levels. The Marmara region is encountered as the most developed region in terms of production technology. Processes like laser field leveling, drying facilities, and other mechanization implementations are used more intensely in the Marmara region compared to other regions with rice production. The continuous need for irrigation of rice fields is encountered as the most important problem from seeding to harvest in our country. This situation leads to problems during the rental of land, causing increases in field rents. Due to the common use of motor pumps for irrigation, electrical energy use increases and this increases production costs.

Rice production requires high rates of labor, agricultural machinery, and technology. The yield obtained from rice production without mechanization implementations may be reduced and costs will be high. As with the general structure of the country, a significant portion of rice operations is small family operations. These operations that cannot obtain expensive machinery also cannot perform quality agricultural work in time. For example, due to harvesting using combine harvesters obtained through rental, yields may reduce due to harvesting not occurring in time and product quality may fall. The number of operations performing soil analysis is very few. There will be benefit from using high-capacity pesticide stores and pesticide machinery with wide working width to increase work efficiency. Losses in parcel returns occur mostly in tillage and leveling operations. These losses may be significantly reduced with appropriate turns, good organization and planning.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Author Contributions: Concept – T.Y.; Design – T.Y.; Supervision – H.T., T.Y.; Resources – H.T., T.Y.; Materials – H.T., T.Y.; Data Collection and/ or Processing – H.T.; Analysis and/ or Interpretation – H.T., T.Y.; Literature Search – H.T.; Writing Manuscript – H.T., T.Y.; Critical Review – H.T., T.Y.

Declaration of Interests: The authors declared that they have no conflict of interest.

Funding: The authors declared that this study has received no financial support.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Yazar Katkıları: Fikir – T.Y.; Tasarım –T.Y.; Denetleme – H.T., T.Y.; Kaynaklar – H.T., T.Y.; Malzemeler – H.T., T.Y.; Veri Toplanması ve/veya İşlemesi – H.T.; Analiz ve/veya Yorum H.T., T.Y.; Literatür Taraması – H.T.; Yazıyı Yazan – H.T., T.Y.; Eleştirel İnceleme – H.T., T.Y.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Finansal Destek: Yazarlar bu çalışma için finansal destek almadıklarını beyan etmişlerdir.

References

Akay, H., Sezer, İ., Mut, Z., & Dengiz, O. (2017). Yield and quality performance of some paddy cultivars grown in left bank of Bafra plain [In Turkish]. *KSU J. Natl Sci.*, 20 (Special Issue), 297–302.

Anonymous (2016). *Ministry of Food, Agriculture and Livestock, general directorate of agricultural research and policies* [In Turkish]. Publications of Agricultural Economics and Policy Institute. Retrieved from

<http://www.tepge.gov.tr/Dosyalar/Yayinlar/266a5cbfeaf44f9380a8cfc5950fbb05.pdf>.

- Anonymous (2018). *Agriculture sector report of Bafra District* [In Turkish]. Samsun Investment Support Office, Black Sea Development Agency (OKA).
- Anonymous (2019a). [In Turkish]. Retrieved from <https://www.samsun2019.com.tr/haber/820/100-yilda-celtik-tarimi-paneli--duzenlendi/>.
- Anonymous (2019b). *Turkish Grain Board General Directorate, grain sector report* [In Turkish].
- Arın, S. (1987). The problems and solution for rice farming mechanization at the basin of river Meriç [In Turkish]. 3rd International Symposium on Mechanization and Energy in Agriculture. Turkey: İzmir.
- Baran, M. F., Durgut, M. R., Kayhan, İ. E., Aydın, B., Kurşun, İ., & Bayhan, Y. (2014). Determination of different tillage and sowing methods in terms of technically and economically in second crop maize for silage [In Turkish]. *Namık Kemal University, Journal of Tekirdağ Agriculture Faculty*, 11(1), 18–26.
- Beyhan, M. A., & Pınar, Y. (1996). An investigation of using a mechanical scrub-clearing tool at desuckering of hazelnut [In Turkish]. Proceedings of the agricultural education 150th anniversary, hazelnut and other Nuts Symposium (pp. 119-133). Samsun, Turkey: Ondokuz Mayıs University Faculty of Agriculture.
- Caran, D. (1994). Investigation of mechanical harvesting possibilities in olive [In Turkish]. *Ege university, PhD, graduate school of natural applied science*. Department of Agricultural Machinery.
- Çiçek, G., & Sümer, S. K. (2009). A research on cost analysis and determination of management data in paddy drilling with steel wheel tractor [In Turkish]. Proceedings of the book of 25th National Agricultural Mechanization and Energy Congress. Isparta, Turkey.
- Diñer, H. (1976). *Costs of machinery in agricultural enterprises* [In Turkish]. Professional Publications of Turkish Agricultural Equipment Association.
- Gözübüyük, Z., Çelik, A., Ergüneş, G., Yıldız, T., & Adıgüzel, M. C. (2017). The effect of different tillage-sowing methods on draft force-power and operating parameters on vetch production [In Turkish]. 5th International Participation Soil and Water Resources Congress (p. 147). Kırklareli, Turkey.
- Kadayıfçılar, S., & Diñer, H. (1972). *Agricultural machinery management (Vol. II)* [In Turkish]. Publications of Ankara University Journal of Agriculture Faculty. Publication number:489, Textbook number:163.
- Kayışoğlu, B., & Tan, F. (1994). A research on determination of the best transport system on silage making mechanization [In Turkish]. Proceedings of the book of 15th National Agricultural Mechanization and Energy Congress (pp. 334–342). Antalya, Turkey.
- Kıral, T., Kasnakoğlu, H., Tatlıdil, F., Fidan, H., & Gündoğmuş, E. (1999). *Cost calculation methodology and database guide for agricultural products* [In Turkish]. Project Report of Agricultural Economics Research Institute.
- Özden, D. M. (1991). *Fuel, time data and work efficiencies of tools and machines used in wheat and sugar beet agriculture in Erzurum and Iğdır regions* [In Turkish]. Ministry of Agriculture, Forestry and Rural Affairs, General Directorate of Rural Services, Erzurum Research Institute Directorate Publications. General Publication No:26, Report Serial No:23.
- Yıldız, N., & Bircan, H. (1994). *Research and experiment methods* [In Turkish]. Atatürk University, Faculty of Agriculture. Publication No: 697.
- Yıldız, T. (2000). *Design of a hazelnut picking-up machine with mechanical pick-up unit operated by tractor* [In Turkish]. Ankara University, Graduate School of Natural Applied Science, Department of Agricultural Machinery.
- Yıldız, T. (2016). Determination of total costs, labour requirements and work efficiencies in second fodder corn silage production at Bafra town of Samsun [In Turkish]. *Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology*, 4(12), 1149–1156. [CrossRef]
- Yıldız, T., & Tekgüler, A. (2012). Determination of work efficiencies in hazelnut harvesting by using eccentric type shaker [In Turkish]. Proceedings of the book of 27th National Agricultural Mechanization and Energy Congress (pp. 332–339). Samsun, Turkey.

Su ve Azot Uygulamalarının Patates Böceği (*Leptinotarsa decemlineata* Say) ve Doğal Düşman Popülasyonuna Etkisi

Determination of the Effect of Irrigation Water and Nitrogen Applications on Potato Beetle (*Leptinotarsa decemlineata* Say) and Natural Enemy Populations

Erdal DAŞCI¹ 
İrfan ASLAN² 

¹Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Erzurum, Türkiye
²Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye



Bu çalışma, Erdal DAŞCI'nın Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde kabul edilen doktora tezinin bir kısmıdır

Geliş Tarihi/Received: 24.01.2022

Kabul Tarihi/Accepted: 15.10.2022

Yayınlanma Tarihi/Publication Date:

30.01.2023

Sorumlu Yazar/Corresponding Author:
Erdal DAŞCI
E-mail: erdal.dasci@tarimorman.gov.tr

Cite this article as: Daşci, E., & Aslan, İ. (2023). The effect of irrigation water and nitrogen applications on potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata* Say) and natural enemy populations. *Research in Agricultural Sciences*, 54(1), 15-21.



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

Öz

Bu çalışmada; farklı su düzeyleri ve azot dozlarının patates böceği ve doğal düşmanlar üzerine etkisini belirlemek amaçlanmıştır. Araştırma, 2019 ve 2020 yıllarında, Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Toprak Su Yerleşkesinde, tesadüf bloklarında bölünmüş parseller deneme desenine göre üç tekrarlı olarak toplam 18 parselde yürütülmüştür. Ana parsellerde sulama düzeyleri (S1: Tam sulama, S2: S1 uygulamasına verilen sulama suyunun %70'i), alt parsellerde ise azot dozları (G1: 7 kg/da N, G2: 14 kg/da N, G3: 28 kg/da N) yer almıştır. Ortalama patates böceği ergin popülasyon yoğunluğu su kısıtı uygulamasında (S2) 0,40 birey/bitki, tam sulama uygulamasında (S1) 0,47 birey/bitki, 7 kg/da azot uygulamasında 0,32 birey/bitki, 14 kg/da azot uygulamasında 0,46 birey/bitki ve 28 kg/da azot uygulamasında 0,52 birey/bitki olmuştur. Elde edilen sonuçlar yapılan istatistiksel analiz sonucunda yüksek azot uygulamalarının patates böceğinin kontrolü bakımından uygun olmadığı sonucunu ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Patates böceği, doğal düşmanlar, azot, su kısıtı

ABSTRACT

This study was carried out to determine the effects of different water levels and nitrogen doses on the potato beetle and natural enemies. In 2019 and 2020, the experiment was carried out on a total of 18 plots in 3 replicates according to the randomized completely block designs at the experimental area of East Anatolian Agricultural Research Institute, Soil Water Campus. It consisted of irrigation levels in the main plots (S₁: full irrigation, S₂: 70% of the irrigation water given to S₁ subject), and nitrogen doses in the sub-plots (G₁: 7 kg/da N, G₂: 14 kg/da N, G₃: 28 kg/da N). The average population density of Colorado potato beetle in water restricted application (S2) was 0.40 individuals/plant, 0.47 individuals/plant in full irrigation application (S1), 0.32 individuals/plant in 7 kg/da nitrogen application, 0.46 individuals/plant in 14 kg/da nitrogen application, and 0.52 individuals/plant in 28 kg/da nitrogen application. As a result, it was concluded that high nitrogen applications are not suitable for Colorado potato beetle control.

Keywords: Colorado potato beetle, natural enemies, nitrogen, deficit irrigation

Giriş

Anavatanı Güney Amerika olan patates bitkisi yüksek adaptasyon kabiliyetine sahip olması nedeniyle hızla yayılmış ve günümüzde yaklaşık 126 ülkede yetiştirilmektedir. 2019 yılı verilerine göre dünyada patates dikim alanı 17,34 milyon ha, üretim miktarı 370,40 milyon ton, verim ise 21,362 kg/ha olmuştur (Anonim, 2019). Türkiye'de 2019 yılı verilerine göre 140.766 ha ekim alanına sahip olan patatesin üretim miktarı 4,98 milyon ton, verim ise 35,377 kg/ha olmuştur. Erzurum'da 3.571 ha ekim alanına sahip olan patatesin üretim miktarı 88,725 ton, verim ise 24,850 kg/ha olarak gerçekleşmiştir (Anonim, 2019). Kurak ve yarı kurak iklimlerde patates bitkisinin yetişme döneminde yağışın yetersiz olması, patates

tarımı için sulamayı önemli etkenlerden birisi yapmaktadır. Patates genellikle kaba bünyeli, geçirgen topraklarda yetiştirildiği için yılda 10–15 kez sulama yapılması önerilmektedir (Arıoğlu vd 2006). Patates üretiminde kullanılan girdiler içerisinde en yüksek payı gübreler oluşturmaktadır. Azot, patates üretimini sınırlandıran önemli besin elementidir. Patates tarımı yapılan bölgelerde, üreticiler gereğinden fazla azotlu gübre kullanmaktadır. Orta Anadolu'da patates tarımında azot kullanım miktarı 70-90 kg/da'ya kadar çıkmaktadır (Arıoğlu ve ark., 2006). Kullanılan azotlu gübrenin önemli bir kısmı yıkanarak yeraltı sularına karışmaktadır. Patates üretimi birçok önemli hastalık ve zararlının tehdidi altındadır. Bu zararlıların en önemlilerinden birisi de patates böceğidir. Günümüzde patates böceğinin mücadelesinde ağırlıklı olarak kimyasal ilaçlar kullanılmaktadır. Kullanılan bu kimyasalların çevreye ve insan sağlığına olumsuz etkilerini önlemek amacıyla, zararlı türlerin popülasyon dinamikleri ve çevre ile ilişkileri dikkate alınarak, bütün mücadele metotları ve tekniklerinin bir arada kullanarak zararlıların popülasyon düzeyleri kontrol altına alınmayı sağlayan entegre mücadele yöntemi kullanılmalıdır. Entegre mücadeleye katkı sağlamak amacıyla sulama ve gübre uygulamalarının faydalı ve zararlı böcekler üzerine etkilerinin belirlendiği çalışmalar yapılmaktadır. Sulama ve gübre uygulamaları kültür bitkileri ve yabancı otların büyüme ve gelişmesini etkilediği gibi, bitkilerle beslenen böcekleri etkilemesi de kaçınılmazdır. Bu durumun ortaya konulması entegre mücadele yöntemine katkı sağlamak bakımından önemlidir.

Bu çalışmanın amacı: Farklı su düzeyleri ve azot dozlarının patates böceğinin ve doğal düşmanların popülasyon değişimine etkisini belirlemektir.

Yöntemler

Çalışmanın materyalini Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü Toprak ve Su Kaynakları yerleşkesinde yetiştirilen granola patates çeşidi, patates böceğinin yumurta, larva, pupa ve erginleri ile doğal düşmanları oluşturmaktadır.

Araştırma, tesadüf bloklarında bölünmüş parseller deneme planına göre üç tekrarlı olarak toplam 18 parselde yürütülmüştür. Ana parsellerde sulama düzeyleri (S1: Tam sulama, S2: S1 uygulamasına verilen sulama suyunun %70'i), alt parsellerde ise azot dozları (G1: 7 kg/da N, G2: 14 kg/da N, G3: 28 kg/da N) yer almıştır. Her parselde dört sıra bitki dikilmiş ve her sırada 30 cm aralıklarla 20 bitki yer almıştır.

Bu çalışmada iki farklı sulama düzeyi kullanılmıştır. Tam sulama (S1) uygulamasında bitkilerin ihtiyaç duyduğu suyun tamamı sulama suyu olarak verilmiştir. Su kısıtı (S2) uygulamasında ise patates veriminde önemli kayıp oluşturmayacağı düşünülen su kısıtı düzeyi seçilmiştir. Yapılan çalışmalarda; sulama suyunun %30'dan fazla azaltılması, patates veriminde önemli düşüşe sebep olduğu bildirilmiştir (Sevim, 1986; Trifonov et al., 2018). Bu durum göz önüne alınarak su kısıtı uygulamasında %30 su kısıtı yapılmıştır.

Sulama zamanının belirlenmesi: İlk sulama boğaz doldurma işlemi yapıldıktan sonra yapılmış ve tam sulama konusunda topraktaki mevcut nem tarla kapasitesine getirilmiştir. Su kısıtı uygulamasına ise tam sulama konusuna verilen sulama suyunun %70'i verilmiştir. Sonraki sulamalarda sulama zamanının belirlenmesinde Tahmin edilen bitki su tüketimi (ETc) değeri kullanılmıştır. Sulamalar günlük ETc-Etkili yağış değerleri toplamı 40,6 mm (60 cm toprak derinliğinde kullanılabilir su miktarının yaklaşık %35'i) olduğunda yapılmıştır.

ETc değerleri aşağıdaki eşitlik kullanılarak tahmin edilmiştir.

$$ETc = ETo \times Kc$$

ETc: Tahmin edilen bitki su tüketimi (mm/gün)

ETo: Referans bitki su tüketimi (mm/gün)

Kc: Bitki katsayısı

Referans bitki su tüketiminin (ETo) belirlenmesinde farklı modeller kullanılmaktadır. Kullanılan bu modellerden biriside penman-monteith modelidir ve bu model yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada sulama suyu miktarının belirlenmesi için kullanılan referans bitki su tüketimi değerleri araştırma alanında bulunan, penman-monteith modelini kullanarak referans bitki su tüketimi otomatik olarak hesaplayan, meteoroloji istasyonundan alınmıştır. Bitki katsayısı (Kc) Erzurum-Kars Yaylası bölgesi için belirlenmiş olan ve Türkiye'de sulanan bitkilerin bitki su tüketimi rehberinden alınmıştır (Anonim, 2017).

Sulama suyu miktarının belirlenmesi:

Verilecek sulama suyunun belirlenmesi için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır. Bu eşitlikte; referans bitki su tüketimi ve bitki katsayısı kullanılarak elde edilen tahmini bitki su tüketimi (ETc) değerinden yağış miktarı çıkarılmış, parsel alanı ve ıslatma oranı ile çarpılıp tam sulama parsellerine verilecek sulama suyu miktarı belirlenmiştir. su kısıtı uygulamasına ise tam sulama uygulamasına verilen sulama suyunun %70'i verilmiştir.

$$I = (ETc - R) \times A \times P$$

I: Hacim olarak sulama suyu miktarı (litre)

ETc: Tahmin edilen bitki su tüketimi (mm/gün)

R: Etkili yağış (mm)

A: Parsel alanı (m²)

P: Islama oranı (%) Islatma oranı %65 olarak alınmıştır.

Azot dozlarının seçiminde optimum (G₂: 14 kg/da N), düşük (G₁: 7 kg/da N) ve yüksek (G₃: 28 kg/da N) değerler kullanılmıştır. Çalışmanın ilk yılında 10.05.2019, ikinci yılında 29.04.2020 tarihinde dikim yapılmıştır. Bitkilerin çıkışıyla birlikte 01.06.2019, 08.06.2020 tarihlerinde ilk çapa, bitkiler yaklaşık 4–5 yapraklı olduğunda (10–15 cm) 20.06.2019, 23.06.2020 tarihlerinde ikinci çapa ve boğaz doldurma işlemi, 10.07.2019, 13.07.2020 tarihlerinde de üçüncü çapa yapılmıştır. Yabancı otlarla mücadele kültürel önlemlerle yapılmış olup, patates böceği ile mücadele yapılmamıştır. Araştırma alanından alınan toprak örneklerinde yapılan verimlilik analizlerine göre gübreleme yapılmıştır. Uygulama gereği azotlu gübrenin üçte biri ile fosforlu gübrenin tamamı (8 kg/da P₂O₅) çalışmanın her iki yılında da dikimle birlikte toprağa karıştırılmıştır. Azotlu gübrenin kalan 2/3'ü üç eşit miktarda ilk sulama ile başlanarak yaklaşık 20 gün aralıklarla fertigasyon yöntemi ile verilmiştir. Araştırmada azotlu gübre olarak amonyum sülfat, fosfor kaynağı olarak triple süper fosfat (TSP) kullanılmıştır. Gübre, su basıncıyla çalışan dosatron aleti vasıtasıyla uygulanmıştır. Araştırmada; damla sulama sistemi kullanılarak sulama yapılmış, ilk sulama boğaz doldurma işlemi yapıldıktan sonra yapılmıştır.

Patates böceğinin popülasyon değişiminin belirlenmesi amacıyla Patates böceği gözlemleri bitkilerin çıkışıyla başlayıp hasat tarihine kadar 7 gün aralıklarla sabah saat 10.00'da yapılmıştır. Her parselde rastgele seçilen 10 bitki üzerinde bulunan yumurta kümeleri, larva ve erginlerinin sayımları yapılmıştır (Boiteau et al., 2008). Sayımlar sonucunda uygulamalarda bitki başına ergin, yumurta ve larva sayıları belirlenmiştir. Doğal düşmanlardan avcı böcek türleri ve popülasyon yoğunluğu yedi gün aralıklarla, her parselde rastgele seçilen ve patates böceği popülasyonunun takip edildiği 10 bitki üzerinde belirlenmiştir. Parazitoitlerin

belirlenmesi için toplanan örnekler laboratuvara getirilerek oda sıcaklığında ($20 \pm 2^\circ\text{C}$ ve % 50 ± 5 orantılı nem) petrilere ve farklı ebatlardaki cam şişelere konarak, ağızları tül bent bezlerle kapatılmış ve gerekli gözlemler yapılmıştır.

Elde edilen veriler tesadüf bloklarında bölünmüş parseller deneme desenine göre varyans analizine tabi tutulmuştur. Ortalamaların karşılaştırılmasında LSD çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır. Verilerin istatistik analizleri JUMP 13.0 paket programı kullanılarak yapılmıştır.

Bulgular

Ergin Popülasyon Değişimi

2019 yılında patates böceği erginlerinin popülasyon yoğunluğu 22.07.2019 tarihinden sonra artmaya başlamış, bitki başına en yüksek popülasyon yoğunluğu 19.08.2019 tarihinde görülmüştür. Sulama düzeylerinde en yüksek popülasyon yoğunluğu; tam sulama uygulamasında bitki başına 1,4 ergin, su kısıtı uygulamasında 1,3 ergin olmuştur. Azot dozlarında bitki başına en yüksek popülasyon yoğunluğu; 28 kg/da azot uygulamasında 1,6 ergin, 14 kg/da azot uygulamasında 1,3 ergin ve 7 kg/da azot uygulamasında 1,2 ergin olmuştur. Ergin popülasyonu 26.08.2019 tarihinden sonra azalmaya başlamış, erginler en son 16.09.2019 tarihinde görülmüştür. 2020 yılında patates böceği erginlerinin popülasyonu 04.08.2020 tarihinden sonra artmaya başlamış, bitki başına en yüksek ergin popülasyon yoğunluğu 17.08.2020 tarihinde görülmüştür. Sulama düzeylerinde en yüksek ergin popülasyon yoğunluğu; tam sulama uygulamasında bitki başına 2,2 ergin, su kısıtı uygulamasında 2,1 ergin olmuştur. Azot dozlarında en yüksek ergin popülasyon yoğunluğu; 28 kg/da azot uygulamasında bitki başına 2,6 ergin, 14 kg/da azot uygulamasında 2,3 ergin ve 7 kg/da azot uygulamasında 1,6 ergin olmuştur. Ergin

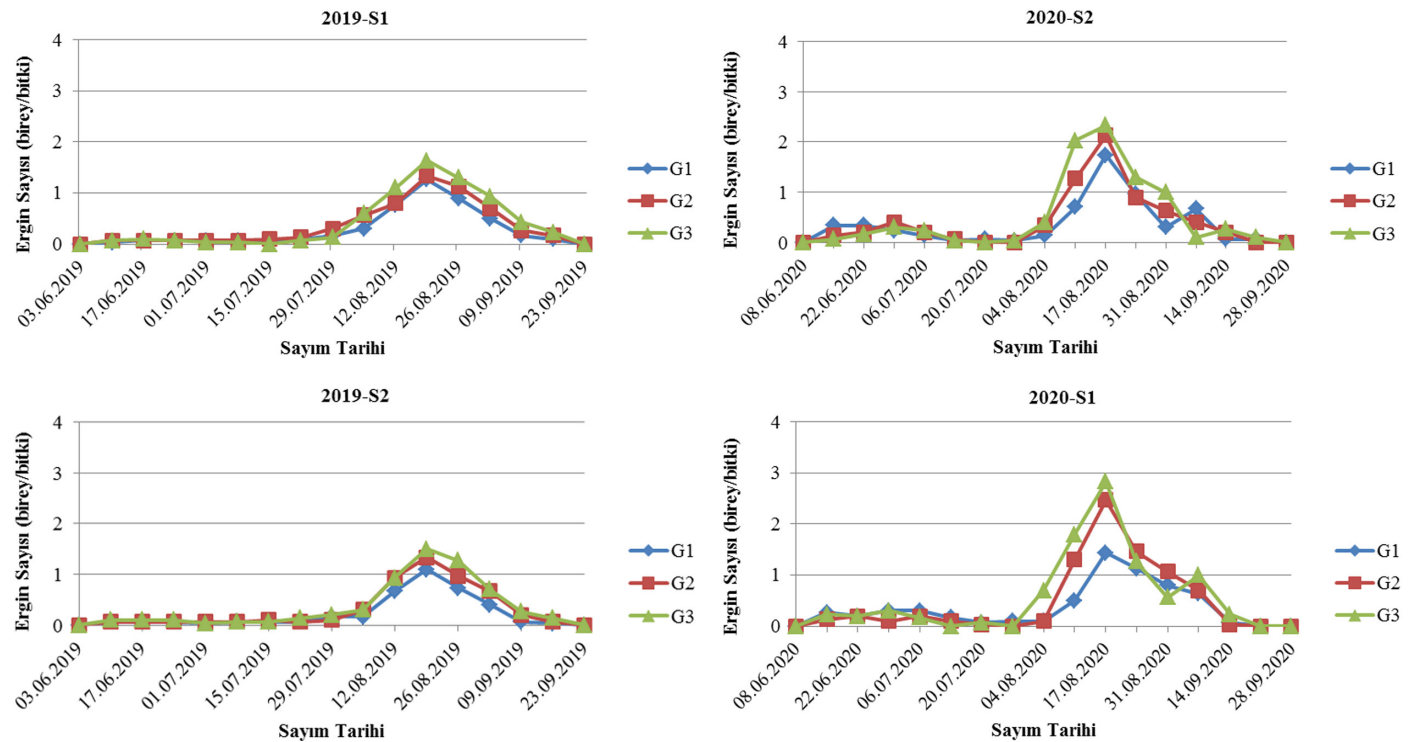
popülasyonu 24.08.2020 tarihinden sonra azalmaya başlamış, erginler en son 21.09.2020 tarihinde görülmüştür (Şekil 1).

Ergin, Yumurta ve Larva Popülasyon Yoğunluğu ve İstatistik Analizi

Ortalama ergin popülasyon yoğunluğu tam sulama uygulamasında 0,47 ergin/bitki, su kısıtı uygulamasında 0,40 ergin/bitki olmuştur. Azot dozlarında ortalama popülasyon yoğunluğu; 28 kg/da azot uygulamasında 0,52 ergin/bitki, 14 kg/da azot uygulamasında 0,46 ergin/bitki ve 7 kg/da azot uygulamasında 0,32 ergin/bitki olmuştur. Birleştirilmiş varyans analizi sonuçlarına göre; sulama düzeyi ($p \leq ,01$) ve azot dozunun ($p \leq ,01$) patates böceğinin ergin popülasyon yoğunluğuna etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Tablo 1).

Ortalama yumurta popülasyon yoğunluğu; tam sulama uygulamasında 1,73 yumurta/bitki, su kısıtı uygulamasında 1,58 yumurta/bitki olmuştur. Azot dozlarında ortalama popülasyon yoğunluğu; 28 kg/da azot uygulamasında 1,93 yumurta/bitki, 14 kg/da azot uygulamasında 1,67 yumurta/bitki ve 7 kg/da azot uygulamasında 1,37 yumurta/bitki olmuştur. Birleştirilmiş varyans analizi sonuçlarına göre; azot dozlarının patates böceği yumurtalarının popülasyon yoğunluğuna etkisi istatistiksel olarak önemli ($p \leq ,01$) bulunmuştur (Tablo 1).

Ortalama larva popülasyon yoğunluğu; tam sulama uygulamasında 1,18 larva/bitki, su kısıtı uygulamasında 1,06 larva/bitki olmuştur. Azot dozlarında ortalama popülasyon yoğunluğu; 28 kg/da azot uygulamasında 1,32 larva/bitki, 14 kg/da azot uygulamasında 1,15 larva/bitki ve 7 kg/da azot uygulamasında 0,88 larva/bitki olmuştur. Birleştirilmiş varyans analizi sonuçlarına göre; azot dozlarının patates böceği larva popülasyon yoğunluğuna etkisi istatistiksel olarak önemli ($p \leq ,01$) bulunmuştur (Tablo 1).



Şekil 1.

2019, 2020 Yıllarında Farklı Su Düzeyleri ve Azot Dozlarında Patates Böceği Erginlerinin Popülasyon Değişimi (S₁: Tam Sulama, S₂: Su Kısıtı, G₁: 7 kg/da N, G₂: 14 kg/da N, G₃: 28 kg/da N)

Tablo 1.

Farklı Su Düzeyleri ve Azot Dozlarında Patates Böceğinin Ergin (Birey/Bitki), Yumurta (Yumurta/Bitki) ve Larva (Larva/Bitki) Popülasyon Yoğunluğu (Ortalama \pm Standart Sapma) ve Ortalama Karşılaştırma Sonuçları

	Sulama Suyu Miktarları	Azot Dozları						Ortalama**	
		G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅	G ₆		
Ergin	S ₁	0,33 \pm 0,03		0,51 \pm 0,08		0,57 \pm 0,08		0,47 \pm 0,04	A
	S ₂	0,32 \pm 0,05		0,40 \pm 0,05		0,47 \pm 0,06		0,40 \pm 0,03	B
	Ortalama**	0,32 \pm 0,03	c	0,46 \pm 0,05	b	0,52 \pm 0,05	a		
Yumurta	S ₁	1,43 \pm 0,22		1,79 \pm 0,33		1,98 \pm 0,31		1,73 \pm 0,17	
	S ₂	1,32 \pm 0,27		1,55 \pm 0,25		1,87 \pm 0,25		1,58 \pm 0,15	
	Ortalama**	1,37 \pm 0,17	c	1,67 \pm 0,18	b	1,93 \pm 0,19	a		
Larva	S ₁	0,91 \pm 0,14		1,17 \pm 0,21		1,44 \pm 0,20		1,18 \pm 0,11	
	S ₂	0,86 \pm 0,17		1,13 \pm 0,21		1,19 \pm 0,14		1,06 \pm 0,10	
	Ortalama**	0,88 \pm 0,11	c	1,15 \pm 0,12	b	1,32 \pm 0,12	a		

Sulama uygulamalarında farklı büyük harf veya azot dozlarında farklı küçük harf ile işaretlenen ortalamalar istatistiksel olarak farklılık göstermektedir. S₁: Tam Sulama, S₂: Su Kısıtı, G₁: 7 kg/da N, G₂: 14 kg/da N, G₃: 28 kg/da N, *p \leq ,05; **p \leq ,01

Elde edilen veriler; sulama düzeylerinin artışına bağlı olarak ortalama ergin, yumurta ve larva popülasyon yoğunluğunun arttığını göstermiştir. Patates böceğinin popülasyon yoğunluğu üzerine sulama suyu miktarının etkisi ile ilgili çalışmaya rastlanmamıştır. Sulama suyu miktarının diğer zararlılar üzerine etkisi ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda da benzer şekilde sulama suyu miktarının artışıyla, popülasyon yoğunluklarının artış gösterdiği ifade edilmiştir. Han et al. (2015), yüksek su alan domates bitkilerinde, düşük su alanlara göre daha fazla ergin *Makrolophus pygmaeus* (Heteroptera: Miridae) görüldüğünü ifade etmişlerdir. Andrey et al. (2014), çayır alanlarında mera ekolojik topluluklarının popülasyon yoğunluğunun sulama ve sulama+gübreleme parsellerinde, kontrol ve sadece gübreleme yapılan parsellere göre önemli miktarda daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. McPherson et al. (1998), sulama ile artan soya vejetasyonunun, örneklenen predatörlerin ve bazı zararlıların popülasyonunu artırdığını ifade etmişlerdir.

Bu çalışma sonucunda; azot dozlarının artışına bağlı olarak ortalama ergin, yumurta ve larva popülasyonunun arttığı ve bu artışın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda da benzer şekilde azot miktarı ile patates böceği ve diğer zararlıların popülasyon yoğunluğu arasında pozitif yönlü ilişkinin olduğu ifade edilmiştir. Alyokhin et al. (2005), az miktarda sentetik gübre ile birlikte toprak düzenleyicilerin kullanıldığı parsellerde, tam sentetik gübre kullanılan parsellere kıyasla patates böceği popülasyon yoğunluğunun genellikle daha düşük olduğunu bildirmişlerdir. Çopul (2019), farklı pamuk çeşitlerinde azot dozları ile zararlı popülasyonu arasında önemli ve pozitif yönlü ilişkinin olduğunu belirtmiştir. Wagan et al. (2015), pamuk ve buğday da afit popülasyonu yüksek üre uygulamasında tüm büyüme mevsimi boyunca yüksek aktivite gözlemlendiğini bildirmişlerdir.

Çalışma Alanında Tespit Edilen Avcı Böcek Türleri

Çalışmada, Coccinellidae (Coleoptera)'ye ait *Coccinella septempunctata* L. ile *Hippodamia (Adonia) variegata* (Goeze) türleri ve Chrysopidae (Neuroptera)'ye ait avcı böcek türleri tespit edilmiştir. Çalışmanın yürütüldüğü dönemde Chrysopidae larvalarının patates böceği yumurtaları ile beslendiği gözlenmiştir. Şahin (1997), Erzurum şartlarında patates ekim alanlarında *Anthocoris sibiricus*, *C. septempunctata*, *Chrysoperla carnea*, *Deraeocoris seramus* avcı böcek türlerinin belirlendiğini ifade etmiştir. Alaoğlu ve Özbek (1987), Erzurum'da patates dikim alanlarında 6

Coccinellidae, 4 Anthocoridae, 1 Nabidae, 1 Miridae, 4 Syrphidae ve 1 Chrysopidae familyasından olmak üzere 17 avcı böcek türü belirlenmişlerdir.

Coccinellidae (Coleoptera) Bireylerinin Popülasyon Değişimi

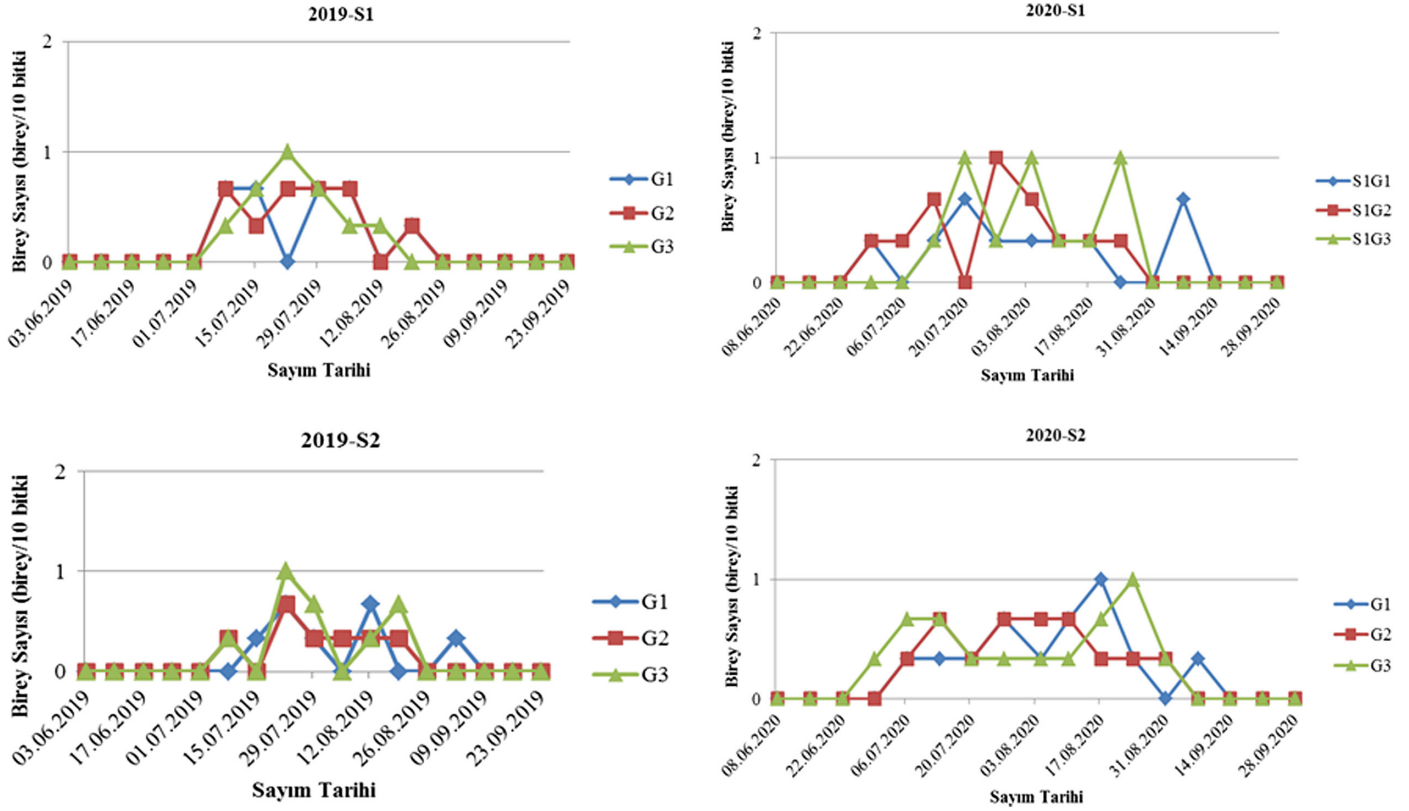
2019 yılında Coccinellidae'ye ait bireyler 8 Temmuz ile 2 Eylül tarihleri arasında görülmüştür. Sulama düzeylerinde en yüksek coccinellid sayısı; tam sulama ve su kısıtı uygulamasında 0,8 birey/10 bitki olmuştur. Azot dozlarında en yüksek coccinellid sayısı; 28 kg/da azot uygulamasında 1 birey/10 bitki, 14 kg/da azot uygulamasında 0,7 birey/10 bitki ve 7 kg/da azot uygulamasında 0,7 birey/10 bitki olmuştur. 2020 yılında Coccinellidae'ye ait bireyler 29 Haziran ile 7 Eylül tarihleri arasında görülmüştür. Sulama düzeylerinde en yüksek coccinellid sayısı; tam sulama ve su kısıtı uygulamasında 0,9 birey/10 bitki olmuştur. Azot dozlarında en yüksek coccinellid sayısı; 28 kg/da azot uygulamasında 1 birey/10 bitki, 14 kg/da azot uygulamasında 0,9 birey/10 bitki ve 7 kg/da azot uygulamasında 0,9 birey/10 bitki olmuştur. (Şekil 2).

Alaoğlu ve Özbek (1987), Erzurum'da patates dikim alanlarında *C. septempunctata* bireylerinin 9 Temmuz ile 15 Eylül tarihleri arasında, *H. variegata* bireylerinin ise temmuz başından ekim ayı başına kadar görüldüğünü bildirmişlerdir.

Chrysopidae (Neuroptera) Bireylerinin Popülasyon Değişimi

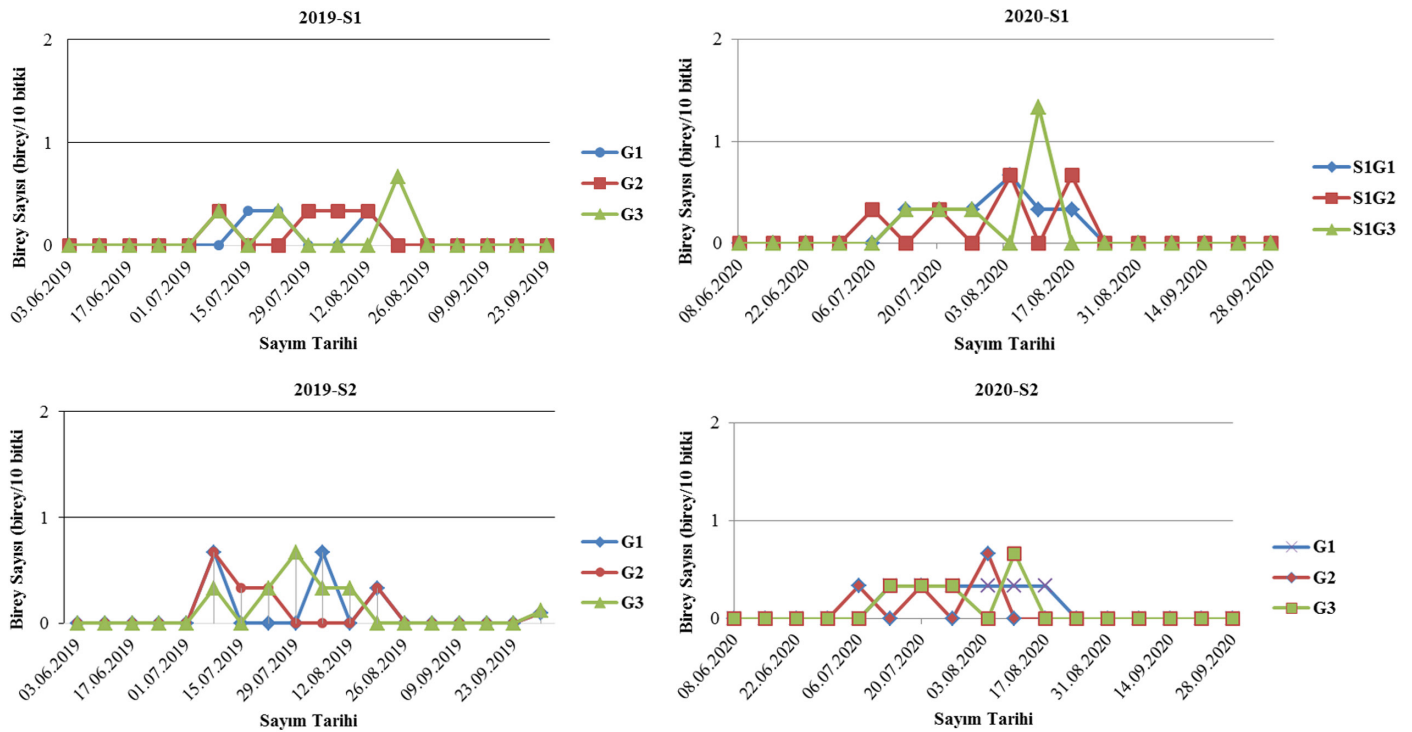
2019 yılında Chrysopidae'ye ait bireyler 8 Temmuz ile 19 Ağustos tarihleri arasında görülmüştür. Sulama düzeylerinde en yüksek chrysopid sayısı; tam sulamasında 0,7 birey/10 bitki, su kısıtı uygulamasında 0,4 birey/10 bitki olmuştur. Azot dozlarında en yüksek chrysopid sayısı; 28 kg/da azot uygulamasında 0,7 birey/10 bitki, 14 kg/da azot uygulamasında 0,5 birey/10 bitki ve 7 kg/da azot uygulamasında 0,5 birey/10 bitki olarak tespit edilmiştir. 2020 yılında Chrysopidae'ye ait bireyler 06 Temmuz ile 17 Ağustos tarihleri arasında görülmüştür. Sulama düzeylerinde en yüksek chrysopid sayısı; tam sulamasında 0,9 birey/10 bitki, su kısıtı uygulamasında 0,6 birey/10 bitki olmuştur. Azot dozlarında en yüksek chrysopid sayısı; 28 kg/da azot uygulamasında 1 birey/10 bitki, 14 kg/da azot uygulamasında 0,7 birey/10 bitki ve 7 kg/da azot uygulamasında 0,5 birey/10 bitki olmuştur (Şekil 3).

Alaoğlu ve Özbek (1987), Erzurum'da patates dikim alanlarında *C. carnea* bireylerinin 8 Temmuz ile 24 Eylül tarihleri arasında görüldüğünü ve popülasyonun ağustos ayının ortasına doğru yükseldiğini bildirmişlerdir.



Şekil 2.

2019, 2020 Yıllarında Farklı Su Düzeyleri ve Azot Dozlarında Coccinellidae (Coleoptera) Popülasyon Değişimi (S₁: Tam Sulama, S₂: Su Kısıtı, G₁: 7 kg/da N, G₂: 14 kg/da N, G₃: 28 kg/da N)



Şekil 3.

2019, 2020 Yıllarında Farklı Su Düzeyleri ve Azot Dozlarında Chrysopidae (Neuroptera) Popülasyon Değişimi (S₁: Tam Sulama, S₂: Su Kısıtı, G₁: 7 kg/da N, G₂: 14 kg/da N, G₃: 28 kg/da N)

Coccinellidae (Coleoptera) ve Chrysopidae (Neuroptera) Popülasyonu Yoğunluğu ve Varyans Analizi

Ortalama Coccinellidae popülasyonu yoğunluğu; tam sulama ve su kısıtı uygulamalarında 0,21 birey/10 bitki olmuştur. Azot dozlarında ortalama Coccinellidae popülasyonu yoğunluğu; 28 kg/da azot uygulamasında 0,23 birey/10 bitki, 14 kg/da azot uygulamasında 0,21 birey/10 bitki ve 7 kg/da azot uygulamasında 0,20 birey/10 bitki olmuştur. Birleştirilmiş varyans analizi sonuçlarına göre; uygulamaların Coccinellidae familyası popülasyonu yoğunluğu üzerine etkisi önemsiz olmuştur (Tablo 2).

Ortalama Chrysopidae popülasyonu yoğunluğu; tam sulama uygulamasında ve su kısıtı uygulamasında 0,10 birey/10 bitki olmuştur. Azot dozlarında ortalama Chrysopidae popülasyonu yoğunluğu; 28 kg/da azot uygulamasında 0,11 birey/10 bitki, 14 kg/da azot uygulamasında 0,09 birey/10 bitki ve 7 kg/da azot uygulamasında 0,10 birey/10 bitki olmuştur. Birleştirilmiş varyans analizi sonuçlarına göre; uygulamaların Chrysopidae popülasyonu yoğunluğu üzerine etkisi önemsiz olmuştur (Tablo 2).

Çalışmada; Coccinellidae popülasyonu yoğunluğu sulama düzeylerinde yıllar itibarıyla farklı olmuş, azot dozlarının artışına bağlı olarak arttığı görülmüştür. Chrysopidae popülasyonu yoğunluğunun uygulamalardan etkilenmediği görülmüştür. Bu sonuçların; avcı böcek popülasyonu yoğunluğunun çok düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çopul ve Gençsoylu (2020), pamukta azot dozlarının artışına paralel olarak avcı böcek popülasyonunun arttığını belirtmişlerdir. Wagan et al. (2015), pamuk ve buğdayda Coccinellidae popülasyonunun 10 kg/da üre uygulamasında, tüm büyüme mevsimi boyunca düşük, 15-20 kg/da üre uygulamasında yüksek aktivite gözlemlendiğini bildirmişlerdir. Alaoglu ve Özbek (1987), patates üretim alanlarındaki avcı böcek popülasyonu yoğunluğunun av popülasyonu, konukçu durumu ile iklim faktörlerinden etkilenebileceğini belirtmişlerdir.

Parazitoit Türlerin Belirlenmesi

Parazitlerinin belirlenmesi amacıyla 2019 ve 2020 yıllarında laboratuvara getirilen materyallerde herhangi bir parazitoit çıkışı belirlenmemiştir. Şahin (1997), Erzurum şartlarında patates böceğinde herhangi bir parazitoit tür tespit edilmediğini kaydetmiştir.

	Sulama Suyu Miktarları	Azot Dozları			Ortalama
		G ₁	G ₂	G ₃	
Coccinellidae	S ₁	0,19 ± 0,04	0,22 ± 0,04	0,23 ± 0,05	0,21 ± 0,02
	S ₂	0,20 ± 0,03	0,20 ± 0,03	0,24 ± 0,04	0,21 ± 0,02
	Ortalama	0,20 ± 0,02	0,21 ± 0,03	0,23 ± 0,03	
Chrysopidae	S ₁	0,10 ± 0,02	0,10 ± 0,02	0,11 ± 0,02	0,10 ± 0,01
	S ₂	0,11 ± 0,02	0,09 ± 0,02	0,11 ± 0,02	0,10 ± 0,01
	Ortalama	0,10 ± 0,02	0,09 ± 0,02	0,11 ± 0,02	

S₁: Tam Sulama, S₂: Su Kısıtı, G₁: 7 kg/da N, G₂: 14 kg/da N, G₃: 28 kg/da N

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma sonucunda; bitki başına tespit edilen patates böceği ergin, yumurta ve larva popülasyonu ile sulama suyu miktarı ve azot dozları arasında önemli pozitif yönlü ilişkinin olduğu ortaya konmuştur. Sulama suyu miktarı ve azot dozlarının artışına paralel olarak patates böceği ergin, yumurta, larva popülasyonu da artmıştır. Ortalama patates böceği ergin popülasyonu yoğunluğu su kısıtı uygulamasına (S2) göre tam sulama uygulamasında (S1) %18 oranında artarken, 7 kg/da azot uygulamasına göre 14 kg/da ve 28 kg/da azot uygulaması popülasyonu yoğunluğunu sırasıyla %44 ve %63 oranında artırmıştır. Doğal düşmanlardan Coccinellidae türlerinin popülasyonu yoğunluğu sulama suyu uygulamalarında aynı olmasına rağmen, 7 kg/da azot uygulamasına göre 14 kg/da ve 28 kg/da azot uygulaması popülasyonu yoğunluğunu sırasıyla %5 ve %15 oranında artırmıştır. Chrysopidae türlerinin popülasyonu yoğunluğu sulama uygulamaları ve azot dozlarından etkilenmemiştir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Yazar Katkıları: Fikir- E.D.; Analiz ve/veya Yorum - E.D., İ.A.; Yazıyı Yazan - E.D.; Eleştirel İnceleme - E.D., İ.A.

Çıkar Çatışması: Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Finansal Destek: Bu çalışma TAGEM/TSKAD/B/20/A9/P3/1681'nolu "Farklı Su Düzeyleri ve Azot Dozlarının Damla Sulama Yöntemi ile Sulanan Patatesin Verim ve Kalitesi Üzerine Etkisi (TAGEM+DOKTORA)" projesi kapsamında T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü tarafından desteklenmiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Author Contributions: Concept - E.D.; Analysis and/or Interpretation - E.D., İ.A.; Writing Manuscript - E.D.; Critical Review - E.D., İ.A.

Declaration of Interests: The authors declare that they have no competing interest.

Funding: This study was carried out within the scope of TAGEM/TSKA D/B/20/A9/P3/1681 "The Effect of Different Water Levels and Nitrogen Doses on the Yield and Quality of Potatoes Irrigated by Drip Irrigation (TAGEM+DOKTORA)" project. It was supported by the Ministry of Agriculture and Forestry, General Directorate of Agricultural Research and Policy, Eastern Anatolia Agricultural Research Institute.

Kaynaklar

- Alaoglu, Ö., & Özbek, H. (1987). Erzurum ve Çevresinde Patateslerde Bulunan Avcı böcek Türleri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(1-4), 15-26.
- Alyokhin, A., Porter, G., Groden, E., & Drummond, F. (2005). Colorado potato beetle response to soil amendments: A case in support of the mineral balance hypothesis? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 109(3-4), 234-244. [CrossRef]
- Andrey, A., Humbert, J. Y., Pernollet, C., & Arlettaz, R. (2014). Experimental evidence for the immediate impact of fertilization and irrigation upon the plant and invertebrate communities of mountain grasslands. *Ecology and Evolution*, 4(12), 2610-2623. [CrossRef]
- Anonim (2017). *Türkiye'de sulanan bitkilerin bitki su tüketimleri*. Gıda Tarım ve Hayvancılık bakanlığı, Eflal Matbaacılık ve Ajans Ankara.
- Anonim (2019). Bitkisel üretim İstatistikleri. Retrieved from <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>.
- Anonymous (2019). Value of agricultural production. Retrieved from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- Arıoğlu, H., Çalışkan, M. E., & Onaran, H. (2006). *Türkiye'de patates üretimi, sorunları ve çözüm Önerileri*. IV. Ulusal Patates Kongresi.
- Boiteau, G., Lynch, D. H., & Martin, R. C. (2008). Influence of fertilization on the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata*, in organic

- potato production. *Environmental Entomology*, 37(2), 575–585. [\[CrossRef\]](#)
- Çopul, S. (2019). *Aydın İli İkinci Ürün Pamukta (Gossypium hirsutum L.) Farklı Azot Dozlarının Zararlılar, Doğal Düşmanlar ve Verim Üzerine Etkisinin Belirlenmesi* [Doktora tezi]. Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çopul, S., & Gençsoylu, İ. (2020). Aydın İli İkinci ürün pamukta (*Gossypium hirsutum* L.) farklı azot dozlarının Sokucu-Emicilerin ve doğal düşmanların Popülasyonları üzerine Etkileri. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 17(2), 281–289.
- Han, P., Dong, Y., Lavoit, A. V., Adamowicz, S., Bearez, P., Wajnberg, E., & Desneux, N. (2015). Effect of plant nitrogen and water status on the foraging behavior and fitness of an omnivorous arthropod. *Ecology and Evolution*, 5(23), 5468–5477. [\[CrossRef\]](#)
- Mcpherson, R. M., Layton, R. C., Mclaurin, W. J., & Mills, W. A. (1998). Influence of irrigation and maturity group on the seasonal abundance of soybean arthropods. *Journal of Entomological Science*, 33(4), 378–392. [\[CrossRef\]](#)
- Şahin, M. E. (1997). *Patates böceği, Leptinotarsa decemlineata Say (Coleoptera: Chrysomelidae)'nin Erzurum ekolojik koşullarında biyö-ekolojisi, popülasyon yoğunluğu ve doğal düşmanlarının tespiti* [Yüksek Lisans Tezi]. Erzurum: Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sevim, Z. (1986). *Erzurum koşullarında patatesin su tüketimi*. Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü.
- Trifonov, P., Lazarovitch, N., & Arye, G. (2018). Water and nitrogen productivity of potato growth in desert areas under low-discharge drip irrigation. *Water*, 10(8), 970. [\[CrossRef\]](#)
- Wagan, T. A., Brohi, R., Hamada, C., Tunio, S. K., & Wagan, Z. A. (2015). Effect of different nitrogen fertilizer levels on aphid population and its natural enemies in winter grown wheat. *Wudpecker Journal of Agricultural Research*, 4(4), 61–65.

Effects of Some Temperature and Dormancy-Breaking Applications on Germination Rates of Camelthorn (*Alhagi pseudalhagi* (Bieb.) Desv.) Seeds

Deve Dikeni (*Alhagi pseudalhagi* (Bieb.) Desv.) Tohumlarının Çimlenme Oranları Üzerine Bazı Sıcaklık ve Dormansi Kırma Uygulamalarının Etkileri

Bilal KESKİN¹
Süleyman TEMEL²
Gülüm GÜREL²
Eren ÖZDEN¹

¹Department of Field Crops, Iğdır University, Faculty of Agriculture, Iğdır, Turkey

²Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Iğdır University, Iğdır, Turkey



ABSTRACT

This study was carried out to determine the effects of some temperatures and dormancy-breaking applications on seed germination rates of camelthorn (*Alhagi pseudalhagi*) seeds. The research was carried out in the Field Crops Laboratory of the Faculty of Agriculture of Iğdır University in 2020. Camelthorn seeds were initially germinated in dark at 10°C, 15°C, 20°C, and 25°C constant and at 20/10°C, 20/15°C, 25/10°C, and 25/15°C variable temperature conditions. It was determined that the highest total and normal germination rates were 33.3% and 28.0%, respectively, at 25/15°C conditions, and the abnormal germination rate was 14.6% at 20/10°C conditions. It was observed that no germination took place in the seeds under constant temperature conditions of 10°C. It was determined that 66.7% of *A. pseudalhagi* seeds had a dormancy-related germination problem even under the best temperature conditions. For this purpose, 12 different dormancy-breaking applications (matrix-priming, hydro-priming, gibberellic acid, potassium nitrate, cold moist stratification, warm moist stratification, warm + cold moist stratification, cold + warm moist stratification, cold water, hot water, mechanical scarification, and chemical scarification (sulfuric acid)) were made to *A. pseudalhagi* seeds. According to the results of the research, it was determined that gibberellic acid 28.0%, hot water 25.4%, and mechanical scarification 18.7% removed the dormancy in seeds.

Keywords: *Alhagi pseudalhagi*, camelthorn, dormancy breaking, seed dormancy, seed germination, temperature

ÖZ

Bu çalışma, Deve dikeni (*Alhagi pseudalhagi*) tohumlarının çimlenmesi üzerine bazı sıcaklıkların ve dormansi kırma uygulamalarının etkilerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Araştırma Iğdır Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Laboratuvarında 2020 yılında yürütülmüştür. Tohumlar başlangıçta 10, 15, 20 ve 25°C sabit ve 20/10°C, 20/15°C, 25/10°C, ve 25/15°C değişken sıcaklık koşullarında karanlık ortamda çimlendirmeye alınmıştır. En yüksek toplam ve normal çimlenme oranlarının sırasıyla %33,3 ve %28,0 olarak 25/15°C koşullarında, anormal çimlenme oranının ise %14,6 ile 20/10°C koşullarında olduğu belirlenmiştir. Tohumların 10°C sabit sıcaklık koşullarında ise herhangi bir çimlenmesinin gerçekleşmediği görülmüştür. *Alhagi pseudalhagi* tohumlarında en iyi sıcaklık koşullarda bile %66,7 oranında dormansiye bağlı bir çimlenme problemi olduğu belirlenmiştir. Bu amaçla *Alhagi pseudalhagi* tohumlarına 12 farklı dormansi kırma uygulaması (matrik-priming hidro-priming, giberellik asit, potasyum nitrat, soğuk katlama, sıcak katlama, sıcak+soğuk katlama, soğuk+sıcak katlama, soğuk su, sıcak su, mekanik aşındırma, ve kimyasal aşındırma (sülfürik asit)) yapılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, giberellik asitin %28,0, sıcak suyun %25,4, ve mekanik aşındırmanın %18,7 oranında tohumlardaki dormansiyi kaldırdığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Alhagi pseudalhagi*, deve dikeni, dormansi kırma, tohum dormansisi, tohum çimlenmesi, sıcaklık

Geliş Tarihi/Received: 21.01.2022

Kabul Tarihi/Accepted: 07.07.2022

Yayınlanma Tarihi/Publication Date:
30.01.2023

Sorumlu Yazar/Corresponding Author:
Bilal KESKİN
E-mail: bilalkeskin66@yahoo.com

Cite this article as: Keskin, B., Temel, S., Gürel, G., & Özden, E. (2022). Effects of some temperature and dormancy-breaking applications on germination rates of camelthorn (*Alhagi pseudalhagi* (Bieb.) Desv.) seeds. *Research in Agricultural Sciences*, 54(1), 22-30.



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

Introduction

Plants have important values not only in the nutrition of humans and animals but also in the treatment of diseases, thanks to the secondary metabolites they contain such as alkaloids, phenolic compounds, glycosides, and steroids. The genus *Alhagi*, which is included in the legume family, is widespread in many countries in Asia, America, Africa, Europe, and Australia (Ali, 1977; Ghosal et al., 1974; Liu & Adilla, 1991; Muhammad et al., 2015; Smailov et al., 1990). Species in this genus are widely used in weed, animal feed, erosion control, and pharmaceutical industries, and many scientific studies have been carried out for this purpose (Awaad et al., 2006; Ibrahim, 2015; Muhammad et al., 2015). Important fatty acids, sterols, flavonoids, coumarins, and alkaloids have been identified in species belonging to the genus *Alhagi* (Awaad et al., 2006; Edeoga et al., 2005; Ibrahim, 2015). Most of the species in the genus *Alhagi* are commonly used for medicinal purposes (Gholamhoseinian & Razmi, 2012; Kouchmeshky et al., 2012; Laghari et al., 2012a,b; Srivastava et al., 2014; Zou et al., 2012).

The protein content of the *Alhagi pseudalhagi* plant varies between 12.8% in the early vegetative stage and 10.8% in the seed maturation stage (Temel et al., 2015). On the other hand, the high mineral content and low NDF (Neutral Detergent Fiber) and ADF (Acid Detergent Fiber) values increase the value of animal feed (Muhammad et al., 2015; Temel et al., 2015).

Although *A. pseudalhagi* is widely found in natural environments, there is not enough information about the use and cultivation of the plant. *A. pseudalhagi* plant is spiny deep-rooted and perennial shrub whose roots can grow up to 1.8–2.1 m deep into the soil and can reach a plant height of up to 0.45–1.2 m (Sulaiman, 2013; Tan & Temel, 2012). *A. pseudalhagi* is an important plant because it remains green for most of the year, is resistant to drought and salinity, is found in erosion areas, and has a high potential for medicinal use. In addition, it is a plant that has the potential to be used in the evaluation of salinity, arid, and degraded pasture areas.

The seeds of plants grown in their natural environments are used for production and breeding (Akan et al. 2008). Generally, a high rate of dormancy is observed in seeds collected from nature. Therefore, before these seeds are cultivated, the germination and dormancy status of the seeds should be determined. In this study, it was tried to determine the ideal germination temperature, dormancy status of *A. pseudalhagi* seeds, which have the potential to be widely used in animal feed and medicine, in the evaluation of arid and salinity areas, and which dormancy-breaking application increase seed germination rates in order to eliminate this dormancy.

Methods

A. pseudalhagi seeds, which were used as test material, were collected from the wind erosion area of the Iğdır province, Aralık district. Then, the collected seeds were stored at 5°C in airtight packages until the viability tests were carried out. Laboratory studies were carried out in Iğdir University Faculty of Agriculture, Field Crops Department laboratory in 2020 according to the Random Plots Trial Design with three replications.

Germination Test

Seeds were germinated in a dark environment at constant temperatures of 10°C, 15°C, 20°C, and 25°C and variable temperatures of 20/10°C, 20/15°C, 25/10°C, and 25/15°C. A total of 3 × 25 seeds were used in each germination application. The

germination status of the seeds was followed daily for 28 days at the temperatures determined between the germination papers impregnated with water in a 120 × 20 mm glass petri dish. In order to prevent fungus growth, 0.2% pomarsol was added to the pure water given to the germination medium. The germination status of the seeds was followed for 28 days, and the seeds showing radicle length of 2 mm and above were considered viable (ISTA, 2017). Total, normal, and abnormal germination rate of seeds were determined at the end of the 28th day of the experiment.

According to ISTA (International Seed Testing Association, 2017) rules, 12 different dormancy-breaking processes were applied to the seeds of the *A. pseudalhagi* plant. After the dormancy-breaking applications, the germination rates of the seeds were determined daily for 28 days at the temperature where the highest germination rates were determined. In the study, 3 replications and 25 seeds were used in each replication.

Matrix-Priming

Matrix-priming (MP) medium was prepared in light-proof containers in the form of seed:vermiculite:water medium in the ratio 2:1:3. Matrix-priming's were incubated for 24, 36, and 48 hours at 15°C, and then seeds were dried to their initial weight at 25°C.

Hydro-Priming

The seeds were kept in 40 mL of water for 5 hours at 20°C, and then surface drying was applied to the seeds. After the surface drying process, some water was put into the aging pots, and the seeds were placed in a shirred tulle pouch on the wire tray so that they would not come into contact with the water. The upper part of the aging pots is covered with stretch so that there is no air intake. The aging pots were incubated at 20°C for 48, 72, and 96 hours, and then the seeds removed from the aging pots were dried to their initial weight at room temperature.

Gibberellic Acid

The seeds were kept in gibberellic acid (GA₃) solution prepared as 250, 500, and 1000 ppm in a petri dish for 24 hours in dark conditions and then the seeds were dried to their initial weight at room temperature.

Potassium Nitrate

Seeds were kept in a petri dish in 2% and 4% potassium nitrate (KNO₃) solutions in dark conditions for 6 hours.

Cold Moist Stratification

The seeds were kept between filter papers saturated with moisture for 3 and 4 weeks at 5°C temperature conditions, and then the seeds were dried to their initial weight at room temperature.

Warm Moist Stratification

The seeds were kept between filter papers saturated with moisture for 1 and 2 weeks at 20°C temperature conditions, and then the seeds were dried to their initial weight at room temperature.

Warm + Cold Moist Stratification

The seeds were kept between coarse filter papers saturated with sufficient moisture for 1 and 2 weeks at 20°C temperature conditions and then at 5°C for 3 and 4 weeks and then dried to their initial weight at room temperature.

Cold + Warm Moist Stratification

Seeds were stored between coarse filter papers saturated with sufficient moisture at 5°C for 3 and 4 weeks, followed by 1 and

2 weeks at 20°C, and then the seeds were dried to their initial weight at room temperature.

Cold Water

Seeds placed in a shirred tulle pouch were kept in glass bottles at 5°C for 1, 2, and 4 weeks, completely submerged in water, and then the seeds were dried at room temperature to their initial weight.

Hot Water

Seeds placed in a shirred tulle pouch were kept in boiling water (100°C) for 2 and 4 minutes to be completely submerged, and then the seeds were dried at room temperature to their initial weight.

Mechanical Scarification

The seeds were scarification for 5, 10, and 15 minutes between 10 grit sandpapers.

Chemical Scarification (Sulfuric Acid)

The seeds were kept in 96% sulfuric acid (H₂SO₄) for 10, 20, and 30 seconds, and then the seeds were washed with distilled water and dried on blotting paper.

Statistical Analysis

The data obtained from the research were analyzed according to the JMP 5.0.1 package program. Statistically significant means were grouped according to the least significance difference.

Results, Discussion, and Conclusion and Recommendations

Germination Rates of *A. pseudalhagi* at Different Constant and Alternating Temperatures

It was determined that germination at different temperatures significantly affected the germination rates of *A. pseudalhagi* seeds (Table 1). It was observed that the total and normal germination rates of the seeds at 25/15°C temperature conditions reached the highest values as 33.3% and 28.0%, respectively. Even at the temperature at which the highest germination rate was obtained, 66.7% dormancy was determined in *A. pseudalhagi* seeds. It is known that dormancy is generally high in plants that grow in natural environments (Esmaili & Esmaili, 2010; İkrām et al., 2014; Tavili et al., 2014; Zhou et al., 2012). No germination was observed in *A. pseudalhagi* seeds under the lowest temperature application, 10°C. The highest rate of abnormal germination was observed in seeds germinated at 25/10°C conditions (Table 1). It is known that seeds can germinate at a higher rate in variable temperature conditions than in constant temperature conditions, as an indicator of mimicking their natural life cycles (Ozden et al. 2021).

Studies have reported that the highest germination conditions of *A. pseudalhagi* and *Alhagi camelorum* seeds are in the range of 25–35°C temperatures (Moradi et al., 2015; Solak et al., 2015). It is known that there is 81% dormancy in *A. camelorum* seeds (Solak et al., 2015), and dormancy rates reach up to 98.9% in studies on *A. pseudalhagi*, *Alhagi cancencens*, *Alhagi kirghisorum*, and *Alhagi sparsifolia* species (Karshibaev, 2014). Seeds of *Alhagi* species generally have a high dormancy rate, and the optimum germination temperature was determined to be 25°C. The presence of dormancy in seeds in natural environments is the guarantee of the continuity of the plant. However, dormancy is undesirable in the seeds of cultivated plants, since high dormancy will increase the amount of seeds to be sowed per unit area and will develop as an undesirable plant in the field in the following years.

Table 1.

Germination Rates of Alhagi pseudalhagi at Different Constant and Alternating Temperatures

Temperature	Total Germination (%)	Normal Germination (%)	Abnormal Germination (%)
10°C	0.0 f	0.0 e	0.0 c
15°C	8.0 e	2.6 de	5.3 bc
20°C	10.6 de	6.6 d	4.0 bc
25°C	25.3 b	16.0 bc	9.3 ab
20/10°C	14.6 cd	0.0 e	14.6 a
20/15°C	17.3 c	14.6 c	2.6 bc
25/10°C	30.6 ab	21.3 b	9.3 ab
25/15°C	33.3 a	28.0 a	8.3 bc
LSDs	6.4**	6.5**	7.8*

Note: LSD = Least significance difference.
p* < .05 significant at probability limits, *p* < .01 significant at probability limits.

Germination Rates of *A. pseudalhagi* in Dormancy-Breaking Treatments

Matrix-Priming. In previous literature studies, no MP application was found in seeds of *Alhagi* species. In our current study, *A. pseudalhagi* seeds were exposed to MP at different times, but the effect of MP applications on seed germination rates was not found to be statistically significant (Table 2). On the other hand, in studies on different plant species (*Allium cepa*, *Abelmoschus esculentus*, *Abelmoschus esculentus*, and *Allium ampeloprasum*), it is known that MP applications can allow increases in seed germination rate compared to control (Ozden et al., 2018a,b; Pandita et al., 2010). In the current study, it was seen that MP applications were not effective in breaking dormancy in *A. pseudalhagi* seeds compared to the control application.

Hydro-Priming. Hydro-priming (HP) treatments at different times significantly affected the total, normal, and abnormal germination rates of *A. pseudalhagi* seeds. Depending on the increase in the application time of HP, there was a decrease in the total germination rates. The highest total germination rate was obtained from 48 hours of HP application. Due to the high rate of abnormal germination (9.3%) in 48 and 96 hours of HP, the highest normal germination rate was obtained from 72 hours of HP (Table 2).

It is known that HP applications are applied only to *Alhagi maurorum* seeds among *Alhagi* species, and Anosheh (2020) stated that HP applications are effective in breaking dormancy in *A. maurorum* seeds. On the other hand, it is known that HP applications to some species such as *Nigella sativa*, *Allium cepa*, and *Lactuca sativa* contribute to the breaking of dormancy in seeds (Ozden et al., 2018a; Rao et al., 1987; Tajbakhsh et al., 2014).

Gibberellic Acid. Gibberellic acid application to *A. pseudalhagi* seeds statistically affected the total and normal germination rates. Application of GA₃ at low concentrations (250 ppm) caused an increase in germination rates, while application of GA₃ at higher concentrations (500 and 1000 ppm) caused a gradual decrease in germination rates of seeds. On the other hand, the effect of GA₃ application on abnormal germination rates was not found significant (Table 2).

In the seeds of *Alhagi* species, GA₃ applications were not found in order to break dormancy. In studies on some other species, it has been revealed that the application of GA₃ applied to seeds

Table 2.
Effects of Some Dormancy-Breaking Treatments on Seed Germination of *Alhagi pseudalhagi*

Applications	Treatments	Total Germination (%)	Normal Germination (%)	Abnormal Germination (%)
Matrix-priming	24 hours	36.0	33.3	2.6
	36 hours	30.6	25.3	5.3
	48 hours	37.3	32.0	5.3
LSD value and significant		9.8 ns	14.7 ns	6.1 ns
Hydro-priming	48 hours	44.0 a	34.6 a	9.3 a
	72 hours	40.0 ab	40.0 a	0.0 b
	96 hours	26.6 b	17.3 b	9.3 a
LSD value and significant		14.2*	14.8**	3.0**
Gibberellic acid	250 ppm	61.3 a	50.7 a	10.7
	500 ppm	49.3 b	37.3 b	12.0
	1000 ppm	38.7 c	32.0 b	6.7
LSD value and significant		3.0**	7.4**	6.1 ns
Potassium nitrate	2%	24.0 b	18.6	5.3
	4%	41.3 a	28.0	13.3
LSD value and significant		11.5*	15.2 ns	9.9 ns
Cold moist stratification	3 weeks	9.3 b	8.0 b	1.3
	4 weeks	49.3 a	46.6 a	2.7
LSD value and significant		5.7**	5.7**	5.7 ns
Warm moist stratification	1 week	14.7 b	12.0 b	2.6
	2 weeks	44.0 a	38.6 a	5.3
LSD value and significant		25.0*	15.2**	11.5 ns
Warm + cold moist stratification	1 week + 3 weeks	24.0 c	21.3	2.7 b
	1 week + 4 weeks	32.0 b	32.0	0.0 b
	2 weeks + 3 weeks	40.0 a	21.3	18.7 a
	2 weeks + 4 weeks	26.7 bc	24.0	2.7 b
LSD value and significant		6.9**	10.9 ns	6.9**
Cold + warm moist stratification	3 weeks + 1 week	32.0 bc	25.3 a	6.7
	3 weeks + 2 weeks	25.3 c	16.0 b	9.3
	4 weeks + 1 week	40.0 a	28.0 a	12.0
	4 weeks + 2 weeks	33.3 ab	24.0 a	9.3
LSD value and significant		7.4**	6.5**	5.5ns
Cold water	1 week	25.3 b	22.7 ab	2.6
	2 weeks	41.3 a	36.0 a	5.3
	4 weeks	14.7 b	12.0 b	2.6
LSD value and significant		12.1**	17.6*	6.1 ns
Hot water	2 minutes	58.7 a	36.0 a	22.6 a
	4 minutes	24.0 b	9.3 b	14.7 b
LSD value and significant		28.7*	11.5**	5.7**
Mechanical scarification	5 minutes	33.3 b	30.7	2.7 b
	10 minutes	36.0 b	26.7	9.3 a
	15 minutes	52.0 a	38.7	13.3 a
LSD value and significant		10.3**	12.8 ns	6.1**
Chemical scarification	10 seconds	36.0	24.0	12.0
	20 seconds	32.0	25.3	6.7
	30 seconds	37.3	28.0	9.3
LSD value and significant		10.3 ns	4.8 ns	8.3 ns

Note: LSD = Least significance difference; ns = Not significant.
* $p < .05$ significant at probability limits, ** $p < .01$ significant at probability limits.

at concentrations ranging from 100 to 1000 ppm is an effective method in breaking dormancy (Akkurt et al., 2013; Gökçöl & Duman, 2018; Keshtkar et al., 2008; Kırmızı, 2017; Okay & Günöz, 2009; Zhou et al., 2012). On the other hand, some studies have shown that it is not effective in breaking dormancy (Açıkgöz et al., 2019; Çolak, 2011; Erken et al., 2014; İkrām et al., 2014). On the other hand, Çolak (2011), Okay and Günöz (2009), Onursal and Gözlekçi (2007), and İkrām et al. (2014) stated that GA₃ application at low concentrations was more effective in breaking dormancy.

Potassium Nitrate. Potassium nitrate application had a significant effect on the total germination rate of *A. pseudalhagi*, while its effect on normal germination and abnormal germination rate was not found to be significant. While the total germination rate was calculated as 24.0% in the application of KNO₃ with 2% concentration, it was determined that the total germination rate increased to 41% in the 4% application (Table 2). It was observed that the abnormal germination rate increased depending on the increase in KNO₃ concentration (Table 2).

When the literature studies were examined, no KNO₃ application was found in the seeds of *Alhagi* species in order to break dormancy. In studies conducted on different species, it is known that KNO₃ application on some species was effective in breaking dormancy (İkrām et al., 2014), while it was not effective in some species (Zhou et al., 2012).

Cold Moist Stratification. Cold stratification application of *A. pseudalhagi* seeds was found to be statistically significant in total germination and normal germination rates. Total germination rates were 9.3% and 49.3%, and normal germination rates were 8.0% and 46.6%, respectively, in 3 and 4 weeks of cold stratification. Longer (4 weeks) cold stratification of seeds resulted in significant increases in total and normal germination rates of seeds. On the other hand, the cold stratification time did not cause a significant change in abnormal germination rates (Table 2). In this application, it was observed that *A. pseudalhagi* seeds, whose moisture and cooling needs were met, caused an increase in the germination rate of seeds by breaking dormancy.

Although cold stratification applications and dormancy removal applications in *A. pseudalhagi* seeds are not encountered in the literature, cold stratification application of *A. camelorum* species of *Alhagi* genus affects the germination rate of the seeds compared to the control and it is successful in removing dormancy (Esmaili & Esmaili, 2010); on the other hand, it has been shown that cold stratification applications are successful in breaking dormancy in different species (Hashim et al., 2018; Isavand et al., 2005; Jones et al., 2016; Kambur & Tilki, 2010; Onursal & Gözlekçi, 2007). The effect of cold stratification in breaking dormancy in the current study supports previous studies.

Warm Moist Stratification. Warm moist stratification of *A. pseudalhagi* seeds caused significant changes in total germination and normal germination rates. In 1 and 2 weeks of warm moist stratification, total germination rates were 14.7% and 44.0%, and normal germination rates were 12.0% and 38.6%, respectively. Longer (2 weeks) warm moist stratification of seeds resulted in significant increases in total and normal germination rates. On the other hand, the warm moist stratification time did not cause a significant change in abnormal germination rates (Table 2).

In the literature review, it was seen that warm moist stratification was not applied to *A. pseudalhagi* seeds. On the other hand, it has been determined that warm moist stratification applied to seeds causes a decrease in the germination rate of seeds of *Salsola kali* subsp. *ruthenica* (Obalı, 2009).

Warm + Cold Moist Stratification. It was seen that the effect of warm + cold moist stratification on the total and abnormal germination rate of *A. pseudalhagi* seeds was significant, but the effect on normal germination was insignificant. In 1+3, 1+4, 2+3, and 2+4 applications of warm + cold moist stratification, the total germination rates were 24.0%, 32.0%, 40.0%, and 26.7%, while the abnormal germination rates were 2.7%, 0.0%, 18.7%, and 2.7%, respectively. The highest abnormal germination rate was obtained in 2-week warm + 3-week cold stratification (Table 2).

In the literature review, it was seen that warm + cold moist stratification application was not applied to *A. pseudalhagi* seeds. On the other hand, 3-week warm stratification + 12-week cold stratification applied to *Fraxinus ornus* seeds caused an increase in the germination rate of seeds (Tilki, 2005), while warm + cold moist stratification application did not cause an increase in the germination rate of *Flueggea anatolica* seeds (Avşar & Ok 2009).

Cold + Warm Moist Stratification. While cold + warm moist stratification for different durations significantly affected the total and normal germination rates of *A. pseudalhagi* seeds, its effects on abnormal germination rates were insignificant. In the application of cold + warm stratification for 3+1, 3+2, 4+1, and 4+2 periods, the total germination rates were determined as 32.0%, 25.3%, 40.0%, and 33.3%, while the normal germination rates were determined as 25.3%, 16.6%, 28.0%, and 24.0%, respectively (Table 2).

Cold Water. While significant changes were observed in the total and normal germination rates of *A. pseudalhagi* seeds kept in cold water for 1, 2, and 4 weeks, the changes were insignificant in abnormal germination rates. The seeds kept in cold water for 2 weeks obtained the highest total and normal germination rates of 41.3% and 36.0%, respectively. Soaking the seeds in cold water for a longer time resulted in a decrease in total and normal germination rates (Table 2). It was determined that keeping the seeds in cold water for 2 weeks was sufficient to meet the chilling needs of the *A. pseudalhagi* seeds and to break the physiological dormancy while keeping them in cold water for a longer time reduced the germination of the seed.

In the literature review, it was seen that no cold water soaking was applied to the seeds of *A. pseudalhagi*. It was determined that the seeds of other plant species, *Astragalus adscendens* and *Astragalus podolobus*, kept in cold water (10 days at 4°C) caused an increase in germination rate (Tavili et al., 2014), while in another study, it did not cause an increase in the germination rate of *Salsola kali* subsp. *ruthenica* (Obalı, 2009).

Hot Water. Significant changes were observed in total, normal, and abnormal germination rates of *A. pseudalhagi* seeds, which were soaked in boiling water for different times (2 and 4 minutes). When the seeds of *A. pseudalhagi* were soaked in hot water for 2 and 4 minutes, the total germination rates were 58.7% and 24.0%, the normal germination rate was 36.0% and 9.3%, and the abnormal germination rates were 22.6% and 14.7%, respectively.

Soaking in hot water for a long time (4 minutes) caused a decrease in the germination rate of *A. pseudalhagi* seeds (Table 2).

It has been observed that soaking in boiling water for 2 minutes is sufficient to obtain high germination rates. It is estimated that hot water application has a significant effect on the permeability of the seed coat and contributes to the increase in germination rate. On the other hand, it can be said that keeping the seeds in hot water for a long time causes damage to the embryos of seeds. When the researchers were examined, while soaking in hot water was found in many genus and species, hot water soaking was not applied in the *A. pseudalhagi* species. In studies on other *Alhagi* species, it has been determined that soaking in hot water affects the breaking of dormancy of seeds and increases the germination rate (Anosheh, 2020; Esmaili & Esmaili, 2010; Mohammad et al., 2010).

In other plant genus and species, soaking in hot water has been widely practiced. Accordingly, soaking of seeds of *Astragalus maritimus*, *Astragalus verrucosus*, *A. adscendens*, *A. podolobus*, *Astragalus hamosus*, *Astragalus cyclophyllon*, and *Astragalus arpilobus* in hot water increased the germination rate of the seeds (Bacchetta et al., 2011; Keshtkar et al., 2008; Long et al., 2012; Patane and Gresta 2006; Tavili et al., 2014). On the other hand, it was determined that soaking in hot water did not increase the germination rate of *Astragalus gines-lopezii*, *Astragalus filipes*, and *Astragalus cicer* seeds, and it was not an effective method for breaking dormancy (Kildisheva et al., 2018; Schnadelbach et al., 2016; Statwick, 2016).

Mechanical Scarification. Application of mechanical scarification for 5, 10, and 15 minutes significantly affected the total and abnormal germination rates of *A. pseudalhagi* seeds, while the effect on normal germination rate was insignificant. The application of mechanical scarification for 5, 10, and 15 minutes showed that the total germination rates of *A. pseudalhagi* seeds were 33.3%, 36.0%, and 52.0%, while abnormal germination rates were 2.7%, 9.3%, and 13.3%, respectively. Increases in total, normal, and abnormal germination rates were observed

depending on the increase in mechanical scarification application time (Table 2). It has been observed that the long-term mechanical scarification application causes damage to the embryos of the seeds and causes an increase in the abnormal germination rate. Therefore, mechanical scarification for longer than 15 minutes is predicted to increase abnormal germination in *A. pseudalhagi* seeds.

In previous studies, it was determined that the application of mechanical scarification to *A. pseudalhagi*, *A. cancellens*, *A. kirghisorum*, *A. camelorum*, *A. sparsifolia*, and *A. maurorum* seeds increased the germination rate of the seeds (Anosheh, 2020; Esmaili & Esmaili, 2010; Karshibaev, 2014).

Chemical Scarification. Application of sulfuric acid to *A. pseudalhagi* seeds for 10, 20, and 30 seconds did not cause any significant change in total, normal, and abnormal germination rates. In the application of soaking in sulfuric acid for 10, 20, and 30 seconds, the total germination rate was 36.0%, 32.0%, and 37.3%, the normal germination rate was 24.0%, 25.3% and 28.0%, and the abnormal germination rates were 12.0%, 6.7%, and 9.3%, respectively (Table 2).

The seeds of many *Alhagi* genus were treated with sulfuric acid as a chemical scarification. They determined that sulfuric acid applied to *A. pseudalhagi*, *A. cancellens*, *A. kirghisorum*, *A. sparsifolia*, and *A. maurorum* seeds was very effective in breaking dormancy (Kerr et al., 1965; Esmaili & Esmaili, 2010; Mohammad et al., 2010; Karshibaev, 2014; Anosheh, 2020).

Comparison of Dormancy-Breaking Treatments

The highest total germination values in each dormancy-breaking application were compared with the control (25/15°C) application without any dormancy-breaking application. Seed germination rates of *A. pseudalhagi* in different dormancy-breaking applications are given in Table 3.

It was determined that the effect of dormancy-breaking application on the total, normal, and abnormal germination rates of *A. pseudalhagi* was different. The highest total germination

Table 3.
Comparison of Different Dormancy-Breaking Treatments on Seed Germination of *Alhagi pseudalhagi*

Applications	Total Germination (%)	Normal Germination (%)	Abnormal Germination (%)
Control	33.3 e	28.0 cd	5.3 de
Matrix-priming (48 hours)	37.3 e	32.0 cd	5.3 de
Hydro-priming (48 hours)	44.0 cde	34.7 c	9.3 cd
Gibberellic acid (250 ppm)	61.3 a	50.7 a	10.7 cd
Potassium nitrate (4%)	41.3 cde	28.0 cd	13.3 bc
Cold moist stratification (4 weeks)	49.3 bcd	46.7 ab	2.7 e
Warm moist stratification (2 weeks)	44.0 cde	38.7 d	5.3 de
Warm + cold moist stratification (2 weeks + 3 weeks)	40.0 de	21.3 d	18.7 ab
Cold + warm moist stratification (4 weeks + 1 week)	40.0 de	28.0 cd	12.0 c
Cold water (2 weeks)	41.3 cde	36.0 bc	5.3 de
Hot water (2 minutes)	58.7 ab	36.0 bc	22.7 a
Mechanical scarification (15 seconds)	52.0 abc	38.7 bc	13.3 bc
Chemical scarification (30 seconds)	37.3 e	32.0 cd	5.3 de
LSDs	11.0**	11.7**	6.3**

Note: LSD = Least significance difference; ns = Not significant.
** $p < .01$ significant within probability limits.

rates were obtained in GA₃ at 61.3%, soaking in hot water at 58.7%, and mechanical scarification at 52.0%, respectively. Compared to the control, GA₃ increased the total germination rate by 28.0%, hot water by 25.4%, mechanical scarification by 18.7%, and cold moist stratification by 16.0%. Although other dormancy-breaking treatments slightly increased the total germination rate, these increases were found to be statistically insignificant. Normal germination rate was obtained with 50.7% GA₃ and 46.7% cold stratification application. Gibberellic acid increased the normal germination rate by 22.7% and cold stratification by 18.7% compared to the control. It was observed that other dormancy-breaking treatments did not significantly affect the normal germination rate compared to the control treatment. The highest abnormal germination rates were obtained with 22.7% in hot water soaking and 18.7% in warm + cold moist stratification applications.

There are a number of dormancy types that prolong or inhibit the germination process in seeds. Partial dormancy type causes gradual germination, and this slow germination negatively affects seedling quality and inhibits the growth of an exemplary plant (Demir et al., 2008). A number of methods such as cold stratification, hormonal applications, light, mechanical and chemical scarification, and variable temperatures are used to remove dormancy in seed technology, but their effects differ from species to species (Baskin & Baskin, 2004; Ozden et al., 2021; Roberts & Benjamin, 1979; Stout, 1998). It seems that partial dormancy in the *A. pseudalhagi* species can be eliminated at different rates with some dormancy-breaking applications.

Sulfuric acid, mechanical scarification, HP, soaking in hot water, KNO₃ application, and cold stratification were applied in order to break dormancy in the seeds of *Alhagi* species (Anosheh, 2020; Esmaili & Esmaili, 2010; Karshibaev, 2014; Kerr et al., 1965; Mohammad et al., 2010). However, GA₃ application was not found in the seeds of *Alhagi* species. In our current study, it was determined that the most effective method in breaking dormancy was the application of GA₃.

In the present study, the highest seed germination rate was determined at 25/15°C, while germination was not found at 10°C. Relative to the control treatment, GA₃, hot water, and mechanical scarification contributed significantly to the breaking of dormancy in *A. pseudalhagi* seeds, while the effects of other dormancy-breaking treatments were insignificant. According to the present results, it was determined that GA₃ 28.0%, hot water 25.4%, and mechanical scarification 18.7% removed dormancy. As a result, considering that it is easy to apply in practice, it has been observed that dormancy can be significantly broken with hot water without using any chemicals (hormones).

When the seeds of the *A. pseudodalhagi* plant will be used in the evaluation of arid, saline, and erosion areas, germination rates will increase if they are sown after being kept in boiling hot water at 100°C for 2 minutes.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Author Contributions: Concept – B.K., S.T., G.G., E.Ö.; Design – B.K., S.T., G.G., E.Ö.; Supervision – B.K., S.T., G.G., E.Ö.; Resources – B.K., S.T., G.G., E.Ö.; Data Collection and/or Processing – B.K., S.T., G.G., E.Ö.; Analysis and/or Interpretation – B.K., S.T., G.G., E.Ö.; Literature Search – B.K., S.T., G.G., E.Ö.; Writing Manuscript – B.K., S.T., G.G., E.Ö.; Critical Review – B.K., S.T., G.G., E.Ö.

Declaration of Interests: The authors declare that there are no conflicts of interest related to this article.

Funding: The authors declare that this study had received no financial support.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Yazar Katkıları: Fikir – B.K., S.T., G.G., E.Ö.; Tasarım – B.K., S.T., G.G., E.Ö.; Denetleme – B.K., S.T., G.G., E.Ö.; Kaynaklar – B.K., S.T., G.G., E.Ö.; Malzemeler – B.K., S.T., G.G., E.Ö.; Veri Toplanması ve/veya İşlenmesi – B.K., S.T., G.G., E.Ö.; Analiz ve/veya Yorum – B.K., S.T., G.G., E.Ö.; Literatür Taraması – B.K., S.T., G.G., E.Ö.; Yazıyı Yazan – B.K., S.T., G.G., E.Ö.; Eleştirel İnceleme – B.K., S.T., G.G., E.Ö.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Finansal Destek: Yazarlar bu çalışma için finansal destek almadıklarını beyan etmişlerdir.

References

- Açıkğöz, M. A., & Kara, Ş. M. (2019). Effect of various pretreatments on germination of Turkish endemic *Achillea gypsicola* Hub.-Mor. species under *in vivo* and *in vitro* conditions. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9(4), 2321–2329. [\[CrossRef\]](#)
- Akan, H., Korkut, M. M., & Bolos, M. M. (2008). An ethnobotanical study around Arat Mountain and its surroundings (Birecik, Şanlıurfa). *Firat University Journal of Engineering Science*, 20(1), 67–81.
- Akkurt, M., Keskin, N., Shidfar, M., & Çakır, A. (2013). Effects of some treatments prior to stratification on germination in Kalecik Karası (*Vitis vinifera* L.) seeds. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 3(4), 9–13.
- Avşar, D. M., & Ok, T. (2009). Some Fruit and Seed Characteristics of Kadın-cik Shrub (*Flueggea anatolica* Gemici) Population in the Tarsus Region, Mersin. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri: A(1)*: 1–7.
- Awaad Amani, A. S., Maitland, D. J., & Soliman, G. A. (2006). Antiulcerogenic activity of *Alhagi maurorum*. *Pharmaceutical Biology*, 44(4), 292–296. [\[CrossRef\]](#)
- Bacchetta, G., Fenu, G., Mattana, E., & Pontecorvo, C. (2011). Ecological remarks on *Astragalus maritimus* and *A. verrucosus*, two threatened exclusive endemic species of Sardinia. *Acta Botanica Gallica*, 158(1), 79–91. [\[CrossRef\]](#)
- Baskin, J. M., & Baskin, C. C. (2004). A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research*, 14(1), 1–16. [\[CrossRef\]](#)
- Cavieres, L. A., & Sierra-Almeida, A. S. (2018). Assessing the importance of cold-stratification for seed germination in alpine plant species of the high-Andes of central Chile. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 30, 125–131. [\[CrossRef\]](#)
- Çolak, Ö. F. (2011). *Investigation of dormancy breaking methods in Saponaria halophila Hedge & Hub. - Mor. Seeds* [Master Thesis] (p. 95). Konya: Department of Biology, Selcuk University, Institute of Science and Technology.
- Demir, I., Ermis, S., Mavi, K., & Matthews, S. (2008). Mean germination time of pepper seed lots (*Capsicum annum* L.) predicts size and uniformity of seedlings in germination tests and transplant modules. *Seed Science and Technology*, 36(1), 21–30. [\[CrossRef\]](#)
- Edeoga, H. O., Okwu, D. E., & Mbaebie, B. O. (2005). Phytochemical constituents of some Nigerian medicinal plants. *African Journal of Biotechnology*, 4(7), 685–688. [\[CrossRef\]](#)
- Erken, K., Erken, S., Gülbağ, F., & Özzambak, M. E. (2014). The effects of different sowing time and pre-treatments on seedling emergence in *Chamaecytisus pygmaeus* (Wild.) Rothm. Turkey 5th Seed Congress with International Participation Diyarbakır (pp. 615–619). Turkey.
- Esmaili, A., & Esmaili, A. V. (2010). Breaking of dormancy and germination in camelthorn seeds (*Alhagi camelorum* Fish.). The 3rd Iranian Weed Science Congress, Iranian, 03 February 2010 (pp. 45–48).
- Ghassan, M. S. (2013). Antimicrobial and cytotoxic activities of methanol extract of *Alhagi maurorum*. *African Journal of Microbiology Research*, 7(16), 1548–1557. [\[CrossRef\]](#)
- Gholamhoseinian, A., & Razmi, Z. (2012). Screening the methanolic extracts of some plants for tyrosinase inhibitory activity. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 94(2), 310–318. [\[CrossRef\]](#)

- Ghosal, S., Srivastava, R. S., Bhattacharya, S. K., & Debnath, P. K. (1974). The active principles of *Alhagi pseudalhagi*: β -phenethylamine and tetrahydroisoquinoline bases. *Planta Medica*, 26(4), 318–326. [\[CrossRef\]](#)
- Gökçöl, A., & Duman, İ. (2018). Determination of the effects of different seed treatments to improve the germination of caper seeds. *Journal of Agriculture Faculty of Ege University*, 55(4), 433–440.
- Hashim, İ. F., Aşkın, M. A., & Yıldırım, A. N. (2018). Effects of some treatments on germination and emergence of terebinth (*Pistacia terebinthus* L.) seeds. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13(1), 27–39.
- Hosseini, M. K., Orooji, K., & Avarseii, Z. (2010). Evaluation of some seed dormancy breaking methods on twenty weeds species. Proceedings of the 3rd Iranian weed science congress, 1: Weed biology and eco-physiology (pp.167–169). Babolsar, Iran.
- Ibrahim, M. T. (2015). Anti-inflammatory effect and phenolic isolates of *Alhagi graecorum* Boiss (Family Fabaceae). *Journal of American Science*, 11(5), 1–7.
- Ikram, R. M., Tanveer, A., Ata, Z., & Saqib, M. (2014). Dormancy studies on *Euphorbia dracunculoides* and *Astragalus* spp.: Major weeds of arid areas. *Planta Daninha*, 32(4), 747–753. [\[CrossRef\]](#)
- Isavand, H. R., Madah, A. H., & Tavakol, A. R. (2005). Study of dormancy breakage and germination in seeds of *Astragalus siliquosus*. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 13(1), 67–84.
- ISTA (2017). *International Seed Testing Association. International rules for seed testing*.
- Jones, T. A., Johnson, D. A., Bushman, B. S., Connors, K. J., & Smith, R. C. (2016). Seed dormancy mechanisms in basalt milkvetch and western prairie clover. *Rangeland Ecology and Management*, 69(2), 117–122. [\[CrossRef\]](#)
- Kambur, S., & Tilki, F. (2010). Germination characters of *Pyracantha coccinea* Roem. seeds. National Black Sea forestry Congress 20–22. Volume, II, 785–791.
- Karshibaev, K. K. (2014). Specific reproduction features of some *Alhagi gagnev*. Species in the arid zone of Uzbekistan. *Arid Ecosystems*, 4(2), 127–133. [\[CrossRef\]](#)
- Kerr, H. D., Robocker, W. C., & Muzik, T. J. (1965). Characteristics and control of camelthorn. *Weeds*, 13(2), 156–163. [\[CrossRef\]](#)
- Keshtkar, A. R., Keshtkar, H. R., Razavi, S. M., & Dalfardi, S. (2008). Methods to break seed dormancy of *Astragalus cyclophyllon*. *African Journal of Biotechnology*, 7(21), 3874–3877.
- Kildisheva, O. A., Erickson, T. E., Merritt, D. J., Madsen, M. D., Dixon, K. W., Vargas, J., Amarteifio, R., & Kramer, A. T. (2018). Do abrasion- or temperature-based techniques more effectively relieve physical dormancy in seeds of cold desert perennials? *Rangeland Ecology and Management*, 71(3), 318–322. [\[CrossRef\]](#)
- Kouchmeshky, A., Jameie, S. B., Amin, G., & Ziai, S. A. (2012). Investigation of ACE inhibitory effects of medicinal plants used in traditional Persian medicine for treatment of hypertension: Screening study. *Thrita Student Journal Medical Sciences*, 1(1), 13–23.
- Laghari, A. H., Ali Memon, A. A., Memon, S., Nelofar, A., Khan, K. M., & Yasmin, A. (2012a). Determination of free phenolic acids and antioxidant capacity of methanolic extracts obtained from leaves and flowers of camel thorn (*Alhagi maurorum*). *Natural Product Research*, 26(2), 173–176. [\[CrossRef\]](#)
- Laghari, A. H., Memon, S., Nelofar, A., & Khan, K. M. (2012b). Antifungal ursene-type triterpene from the roots of *Alhagi camelorum*. *Helvetica Chimica Acta*, 95(9), 1556–1560. [\[CrossRef\]](#)
- Liu, X., & Adilla, R. (1991). The *Alhagi* resources and its utilization in Xinjiang. *Xinjiang Bot. Res Lett.*, 195–202.
- Long, Y., Tan, D. Y., Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (2012). Seed dormancy and germination characteristics of *Astragalus arpilobus* (Fabaceae, subfamily Papilionoideae), a central Asian desert annual ephemeral. *South African Journal of Botany*, 83, 68–77. [\[CrossRef\]](#)
- Marwat, S. K., Khan, M. A., Ahmad, M., Zafar, M., & Rehman, F. (2008). Ethnophytomedicines for treatment of various diseases in D. I. Khan district. *Sarhad Journal of Agriculture*, 24(2), 305–316.
- Moradi, A., Ghanbari, A., Rashed Mohassel, M. H., & Izadi Darbandi, E. (2015). Investigations on the cardinal temperatures for germination of *Alhagi pseudalhagi*. *Journal of Plant Protection*, 29(2), 283–290.
- Muhammad, G., Hussain, M. A., Anwar, F., Ashraf, M., & Gilani, A. H. (2015). *Alhagi*: A plant genus rich in bioactives for pharmaceuticals. *Phytotherapy Research*, 29(1), 1–13. [\[CrossRef\]](#)
- Nasir, E., & Ali, S. I. (1972-1994). Flora of Pakistan. National Herbarium, NARC, Islamabad, Department of Botany, University of Karachi, Karachi.
- Obalı, A. (2009). *Researches on the germination biology of Russian thistle (Salsola kali subsp. ruthenica (Iljin) Soo.) seeds* [Master Thesis]. Selcuk University Institute of Science.
- Okay, Y., & Günöz, A. (2009). The effects of some applications on seed germination of endemic *Centaurea tchihatcheffii* Fisch. et Mey. in Göllbaşı Province. *Journal of Agricultural Sciences*, 15(2), 119–126.
- Onursal, C. E., & Gözlekçi, Ş. (2007). The effects of some pre-sowing treatments on seed germination percentage and duration of sandal wood (*Arbutus andrachne* L.) trees. *Akdeniz University Journal of the Faculty of Agriculture*, 20(2), 211–218.
- Ozden, E., Ermis, S., Sahin, O., Taskin, M. B., & Demir, İ. (2018b). Solid matrix priming treatment with O₂ enhanced quality of leek seed lots. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 46(2), 371–375. [\[CrossRef\]](#)
- Ozden, E., Kapçak, D., Memiş, N., & Demir, İ. (2018a). The effects of priming altered in relation to initial seed quality and sowing environment in onion cultivars. The Turkey 6. Seed Congress with International Participation. Niğde.
- Ozden, E., Light, M. E., & Demir, İ. (2021). Alternating temperatures increase germination and emergence in relation to endogenous hormones and enzyme activities in aubergine seeds. *South African Journal of Botany*, 139, 130–139. [\[CrossRef\]](#)
- Pandita, V. K., Anand, A., Nagarajan, S., Seth, R., & Sinha, S. N. (2010). Solid matrix priming improves seed emergence and crop performance in okra. *Seed Science and Technology*, 38(3), 665–674. [\[CrossRef\]](#)
- Patanè, C., & Gresta, F. (2006). Germination of *Astragalus hamosus* and *Medicago orbicularis* as affected by seed-coat dormancy breaking techniques. *Journal of Arid Environments*, 67(1), 165–173. [\[CrossRef\]](#)
- Pirasteh-Anosheh, H. P. (2020). Breaking seed dormancy of camelthorn (*Alhagi maurorum*) using different treatments and salinity tolerance threshold level evaluation at germination stage. *Iranian Journal of Seed Research*, 7(1), 181–192. [\[CrossRef\]](#)
- Rao, N. K., Roberts, E. H., & Ellis, R. H. (1987). The influence of pre and post-storage hydration treatments on chromosomal aberrations, seedling abnormalities, and viability of lettuce seeds. *Annals of Botany*, 60(1), 97–108. [\[CrossRef\]](#)
- Roberts, E. H., & Benjamin, S. K. (1979). The interaction of light nirtae and alternating temperature on the germination of *Chenopodium album*, *Capsella bursa pastoris* and *Poa annua* before and after chilling. *Seed Science and Technology*, 7, 379–392.
- Schnadelbach, A., Veiga-Barbosa, L., Ruiz, C., & Pérez-García, F. (2016). Dormancy breaking and germination of *Adenocarpus desertorum*, *Astragalus gines-lopezii* and *Hippocrepis grosii* (Fabaceae) seeds, three threatened endemic Spanish species. *Seed Science and Technology*, 44(1), 1–14. [\[CrossRef\]](#)
- Smailov, S. K., Mukhamedzhanov, B. G., Lee, A. V., Iskakov, B. K., & Denisenko, O. N. (1990). An inhibitor of protein synthesis initiation from *Alhagi kirgisorum* S. *FEBS Letters*, 275(1–2), 99–101. [\[CrossRef\]](#)
- Solak, H., Karaca, M., & Güncan, A. (2015). Researches on the germination biology of some common weed seeds in Turkey. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agriculture*, 72(2), 532–538. [\[CrossRef\]](#)
- Srivastava, B., Sharma, H., Dey, Y. N., Wanjarı, M. M., & Jadhav, A. D. (2014). *Alhagi pseudalhagi*: A review of its phytochemistry, pharmacology, folklore claims and Ayurvedic studies. *International Journal of Herbal Medicine*, 2(2), 47–51.
- Statwick, J. M. (2016). Germination pretreatments to break hard-seed dormancy in *Astragalus cicer* L. (Fabaceae). *PeerJ*, 4, e2621. [\[CrossRef\]](#)
- Stout, D. G. (1998). Rapid and synchronous germination of cicer milkvetch (*Asragalus cicer* L.) seed following diurnal temperature priming. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 181(4), 263–266. [\[CrossRef\]](#)

- Tajbakhsh, M., Ghiyasi, M., Amirnia, R., Danesh, Y. R., & Najafi, S. (2014). Studying the effects of drying and non-drying of hydroprimed of *Nigella sativa* seed's germination. Turkey 5th Seed Congress with International Participation Diyarbakır (pp. 478–481). Turkey.
- Tan, M., & Temel, S. (2012). *Alternative forage crops*. Atatürk University Faculty of Agriculture Course. Publications no: 246.
- Tavili, A., Mirdashtvan, M., Alijani, R., Yousefi, M., & Zare, S. (2014). Effect of different treatments on improving seed germination characteristics of *Astragalus adscendens* and *Astragalus podolobus*. *Journal of Rangeland Science*, 4(2), 110–116.
- Temel, S., Sürmen, M., & Tan, M. (2015). Effects of growth stages on the nutritive value of specific halophyte species in saline grasslands. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 25(5), 1419–1428.
- Tilki, F. (2005). The effects of stratification, storage and temperature on the germination of *Fraxinus ornus* L. seeds. *Anadolu University Journal of Science and Technology*, 6(2), 191–195.
- Zou, G. A., Mansur, S., Hu, S. C., Aisa, H. A., & Shakhidoyatov, Kh. M. (2012). Pyrrole alkaloids from *Alhagi sparsifolia*. *Chemistry of Natural Compounds*, 48(4), 635–637. [\[CrossRef\]](#)

Şeker Pancarının Fosfor Agronomik ve Geri Alım Etkinliklerinin Artırılmasında Katı ve Sıvı Fosforlu Gübre Kullanımı

Evaluation of Solid and Liquid Fertilizers in Increasing of Yield, Phosphorus Agronomic and Reuptake Efficiency of Sugar Beet

Duygu Akçay KULLUK^{1b}
Fatma Gökmen YILMAZ^{1b}
Mustafa HARMANKAYA^{1b}
Sait GEZGIN^{1b}

Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi,
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme
Bölümü, Konya, Türkiye

Çalışma, desteklenen proje kapsamında yapılan Duygu AKÇAY KULLUK'un doktora tez çalışmasının bir kısmından oluşmaktadır.

The study consists of a part of Duygu AKÇAY KULLUK's doctoral thesis, which was done within the scope of the supported project.

Geliş Tarihi/Received: 05.02.2022

Kabul Tarihi/Accepted: 14.12.2022

Yayınlanma Tarihi/Publication Date:

30.01.2023

Sorumlu Yazar/Corresponding Author:

Duygu Akçay KULLUK

E-mail: dygackay81@gmail.com

Cite this article as: Kulluk, D. A., Yılmaz, F. G., Harmankaya, M., & Gezgin, S. (2023). Evaluation of solid and liquid fertilizers in increasing of yield, phosphorus agronomic and reuptake efficiency of sugar beet.

Research in Agricultural Sciences, 54(1), 31-35.



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

ÖZ

Çalışma, ortofosfat formunda fosfor içeren katı ve ortofosfat ve polifosfat formlarında fosfor içeren sıvı kompoze gübrelerin kireçli topraklarda yetiştirilen şeker pancarının verimi, kalitesi, fosforun agronomik (FAGe) ve geri alım etkinliği (FAE) üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Deneme, fosfor içeriği düşük tarla koşullarında tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Denemede, katı 10-25-20+%8 S+%1 Zn+Üre, katı 10-25-20 +%8 S +%1 Zn+UAN, sıvı 10-25-20 (ortofosfat)+%8 S +%1 Zn+UAN ve sıvı 10-25-20 (polifosfat) +%8 S +%1 Zn+UAN gübreleri ile ekimde dekara 6 kg P₂O₅ ekim makineleri ile banda ve toplam 18 kg da⁻¹ azot uygulanmıştır. Sonuçta, geleneksel gübre uygulamasına (K2) göre kök+gövde verimi (116 t ha⁻¹), %21, FAGe (750) %80 ve FAE (%30.5) %91 oranında artışla en yüksek ekimde polifosfat formunda fosfor içeren sıvı kompoze ve çapada 15.6 kg N olacak şekilde sıvı UAN (%32 N) gübresi (K5) uygulanması ile elde edilmiştir. Ayrıca kök+gövde verimi ve FAE bakımından fosforu ortofosfat formunda içeren sıvı kompoze gübrenin katı kompoze gübreye göre daha etkili olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fosfor agronomik etkinliği, fosfor geri alım etkinliği, katı ve sıvı fosforlu gübre, şeker pancarı, verim

ABSTRACT

The study was carried out to determine effects of solid fertilizers containing phosphorus in form of orthophosphate and liquid composite fertilizers containing phosphorus in forms of orthophosphate and polyphosphate on yield, quality, agronomic (PAGe) and reuptake efficiency (PUE) of sugar beet grown in calcareous soils. Experiment was conducted in a randomized block design with 3 treatments under field conditions with low phosphorus content. In experiment, solid 10-25-20+8% S+1% Zn+Urea, solid 10-25-20 +8% S +1% Zn+UAN, liquid 10-25-20 (orthophosphate)+8% S +%1 Zn+UAN and liquid 10-25-20 (polyphosphate) +8% S+1% Zn+UAN fertilizers, 6 kg of P₂O₅ were applied by seeder and fertilizer machine and total nitrogen was added at 18 kg da⁻¹. Results showed that root+stem yield (116 t ha⁻¹), PAGe (750) and PUE (30.5%) with an increase in rate of 21%, 15%, 80% and 91% respectively in the highest liquid composite containing phosphorus with form of polyphosphate and liquid UAN (32% N) fertilizer with 15.6 kg N in hoe (K5) compared to conventional fertilizer application (K2). In addition, it has been determined the significant effect of liquid composite fertilizer containing phosphorus with form of orthophosphate in root+stem yield and PUE compared to solid composite fertilizer.

Keywords: Phosphorus agronomic efficiency, phosphorus reuptake efficiency, solid and liquid fertilizer, sugar beet, yield

Giriş

Ülkemizde 2020 yılında 336.353 ha ekim alanından 23 milyon ton üretimi yapılan şeker pancarı bitkisi, en fazla Konya ili'nde yetiştirilmektedir. Konya İli Türkiye şeker pancarı ekim alanlarının %27.2'sine sahip olup, bu alanda toplam üretimin %31.9'unu gerçekleştirmektedir (TÜİK, 2021). Ülkemizde şeker üretimi açısından büyük önem arz eden şeker pancarının birim alanından elde edilen verim ve kalitenin

artırılmasında etkili olan en önemli faktörlerin başında dengeli gübreleme gelmektedir. Bitkisel üretimde dengeli gübreleme, toprak analiz sonuçlarına göre bitkilerden hedef verim ve kalitenin sağlanabilmesi için istedikleri besin elementlerinin kimyasal, organik veya organomineral gübreler ile istedikleri zamanda en ekonomik bir şekilde sağlanabilmesidir. Oysaki bitkilerin başta fosfor olmak üzere bazı besin elementlerinin karşılanmasında ülkemiz ve dünya tarım topraklarında çok önemli sorunlar bulunmaktadır. Çünkü bazik reaksiyonlu, kireçli ve organik maddece fakir topraklarda, fosforun topraktaki Ca ve Mg gibi iki değerlikli elementler ile asit reaksiyonlu topraklarda da Al, Fe ve Mn gibi iki ve üç değerlikli elementlerle çözünürlüğü düşük tuzlar veya kompleksler oluşturması veya 1:1 tipi kil minerallerinin kırılmış köşe ve kenarlarına güçlü bir şekilde bağlanmasıyla yüksek oranda fiks edilmesi, kurak iklim ve düşük sıcaklığın da etkisiyle toprakta difüzyon katsayısının düşmesiyle bitkiler fosforu yeteri kadar alamamaktadırlar (Hettiarachchi ve ark., 2006; Lombi ve ark., 2004, 2005). Nitekim kimyasal gübrelerle bitkilere uygulanan fosforun alım etkinliğinin genellikle %10-%30'lar düzeyinde olduğu, geriye kalan fosforun ise büyük bir kısmının topraklarda fiks edildiği bildirilmektedir (Kacar, 1964) Bu bağlamda, fosforun değiştirilemez ve yenilenebilir olmayan doğası göz önüne alındığında, kullanım etkinliğinin artırılması gerekmektedir. Bunun için, dünyada ve ülkemizde fosforun toprağa bir organik madde ile verilmesini sağlayan organomineral gübre kullanımı, Organomineral veya kimyasal gübrelerle fosfor çözücü bakterilerin kullanımı, kimyasal gübrelerle veya tek başına fosfor çözücü mikroorganizmaları içeren biyogübrelerin kullanımı yada katı fosfor içerikli kimyasal gübreler yerine farklı formlarda fosfor içerikli sıvı kimyasal gübrelerin kullanımı ile bitkilerin fosfor alım etkinliğini artırılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Nitekim, sıvı ve katı fosforlu gübrelerinin etkinliklerinin karşılaştırıldığı çalışmalarda, sıvı P'lu gübrelerinin kireç içeriği yüksek topraklarda katı P'lu gübrelere göre bitki büyümesinde ve P alımını teşvik etmede daha etkili olduğunu, ayrıca toprağın 10 cm kadar altına uygulamanın toprak, iklim, bitki, gübre özellikleri ve gübre uygulama şekline bağlı olarak %10-30 arasında değişen oranlarda alım etkinliklerini artırdığı bildirilmiştir (Holloway ve ark., 2001, Zhao ve ark., 2021). Avustralya'da alkali topraklarda buğday bitkisine fosfor içerikli katı (MAP, DAP ve TSP) ve sıvı gübre (sıvı MAP, sıvı APP ve fosforik asit) uygulamalarının fosfor alımı üzerine etkilerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada, sıvı gübre uygulamaları ile Ca-P bileşikleri halinde çözünürlüğü düşük tuzlar oluşumunun azalmasından dolayı bitkilerin fosfor alımını artırdığını yani; fiksasyonun azaldığını bildirmişlerdir (Bertrand ve ark., 2006). Kireçli bazik topraklarda buğday bitkisinin fosfor alım etkinliğinin artırılması için katı (DAP, MAP, TSP) ve sıvı (TG-MAP, APP ve PA) fosforlu gübrelerin etkilerinin karşılaştırıldığı bir başka çalışmada, sıvı gübre uygulamaları ile kireçli topraklarda P çözünürlüğünün ve difüzyon hızının daha yüksek olduğu ve böylece katı gübre uygulamalarına göre bitki fosfor alımını daha fazla artırdığı bildirilmiştir (Lombi ve ark., 2005). Benzer şekilde katı ve sıvı fosforlu gübre (DAP, 20-20 kompoze ve Ekin) uygulamalarının

bitki fosfor alım etkinliği üzerine sıvı fosforlu gübrelerin katı fosforlu gübrelere göre hatta ortofosfat formunda fosfor içeren sıvı fosforlu gübrelerin polifosfat formunda fosfor içeren sıvı fosforlu gübrelere göre daha etkili olduğunu, bu durumun sıvı formda fosforlu gübrelerin katı gübrelere göre kireçli topraklarda daha az fiksasyona uğraması yanında fosfor difüzyonunun fazla olmasından kaynaklanabileceği ile ifade edilmiştir (Torun, 2021). Katı kimyasal gübrelerin toprak yüzeyine veya ekimde tohum yatağına uygulanmasıyla meydana gelen kayıpların ve olumsuz etkilerinin azaltılıp fosfor alım etkinliklerinin artırılması için katı fosforlu gübre yerine sıvı fosforlu gübrelerin özellikle banda uygulanması önerilmektedir (Sims, 2010). Ancak yine de fosforun etkinliği çok fazla artırılamamaktadır (Holloway ve ark., 2001; Kusi ve ark., 2021; Lombi ve ark., 2004; McBeath ve ark., 2007; Zhao ve ark., 2021). Bu nedenle bu çalışmada,

1. Ekimde katı fosforlu gübrelerin yerine sıvı fosforlu gübre uygulamasının,
2. Ekimde ortofosfat ve polifosfat formunda fosfor içeren sıvı gübre uygulamalarının
3. Şeker pancarı bitkisinin verim, kalite parametreleri ve özellikle de fosfor agronomik ve alım etkinliği üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Yöntemler

Tarla denemesi, 2019 yılında Konya ili Karapınar ilçesi Toprak Su ve Çölleşme İle Mücadele Araştırma Enstitüsü'nde fosfor içeriği yetersiz ($P < 5.4 \text{ mg kg}^{-1}$, FAO, 1990) olan bir alanda yürütülmüştür. Deneme toprağı nötr reaksiyonlu ($\text{pH}=7.24$), çok fazla kireçli (%57.3), organik maddece fakir (%0.95), kumlu killi tın (SCL) bünyeye sahiptir. Bitkiye yararlı Ca (5830 mg kg^{-1}) ve K (334 mg kg^{-1}) miktarları fazla, Mg (445 mg kg^{-1}), Fe (3.70 mg kg^{-1}), Cu (0.67 mg kg^{-1}), Mn (4.78 mg kg^{-1}) ve B (0.80 mg kg^{-1}) miktarları yeterli olan deneme toprağında $\text{NO}_3\text{-N}$ (12.5 mg kg^{-1}) ve Zn (0.16 mg kg^{-1}) miktarları şekerpancari bitkisinin gelişimi için yetersiz seviyede bulunmaktadır.

Araştırmanın yürütüldüğü yerde şeker pancarı bitkisinin vejetasyon gelişim periyodundaki (Nisan – Ekim) yağış toplamı ve sıcaklık ortalaması sırasıyla 95.6 mm ve $16.9 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak belirlenmiştir. Tablo 1'de verilen plana göre 3 tekerrürlü olarak tesadüf blokları deneme desenine göre 15 adet parselde yürütülen denemede, "Selenada" şeker pancarı çeşidi kullanılmıştır. Deneme yeri toprağının bitkiye elverişli fosfor içeriği ($5.4 \text{ ppm P}=3.1 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{da}$) dikkate alınarak Türkiye Gübreler ve Gübreleme rehberine (2006) göre toplam olarak $6 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{da}$ fosfor, elverişli inorganik ($\text{NH}_4\text{+NO}_3$) azot miktarına ($12.5 \text{ ppm}=6.5 \text{ kg N/da}$) göre 18 kg N/da azot ve $4.8 \text{ kg K}_2\text{O/da}$ potasyum uygulanmıştır (Tablo 1). Fosforun ve potasyumun tamamı ve azotun bir kısmı ekim esnasında katı gübreler ekim mibzeri (Şekil 1a) ile banda, sıvı gübreler ise özel üretilmiş sıvı gübre uygulayabilen ekim makinesi (Şekil 1b) ile tohumun 5 cm yanı ve 5 cm altına olacak şekilde banda uygulanmıştır (Tablo 1). Kalan azotun bir kısmı (6.6 kg N/da) mayıs ayında 1.çapa,



Şekil 1.

Katı Gübre Uygulayabilen Ekim Mibzeri (A), Sıvı Gübre Uygulayabilen Ekim Mibzeri (B), Sıvı Gübre Uygulayabilen Çapalama Makinesi (C).

Tablo 1.
Uygulama Kodları, Uygulanan Gübreler, Gübre Uygulama Zamanı ve Miktarları

Uygulama Kodu	Ekim esnasında taban gübrelemesi		Üst gübreleme		
	Gübre	Uygulama miktarı (kg da ⁻¹)	Gübre	1.çapa (kg N da ⁻¹)	2.çapa (kg N da ⁻¹)
K1	Kontrol - Gübre uygulaması yok	0		0	0
K2	Katı 10-25-20+%8 S+%1 Zn	2.4 N - 6 P ₂ O ₅ - 4.8 K ₂ O	Üre	6.6	9
K3	Katı 10-25-20+%8 S+%1 Zn	2.4 N - 6 P ₂ O ₅ - 4.8 K ₂ O	UAN	6.6	9
K4	Sıvı 10-25-20+%8 S+%1 Zn (ortofosfat formunda fosfor içeren)	2.4 N - 6 P ₂ O ₅ - 4.8 K ₂ O	UAN	6.6	9
K5	Sıvı 10-25-20 %8 S+%1 Zn (polifosfat formunda fosfor içeren)	2.4 N - 6 P ₂ O ₅ - 4.8 K ₂ O	UAN	6.6	9

diğer kısmı (9 kg N/da) da Haziran ayı sonunda 2.çapada katı üre (%46 N) ve sıvı UAN (%32 N) gübresi şeklinde verilmiştir. Üst N uygulaması Katı Üre ile çapalama öncesi elle toprak yüzeyine serpilip çapalama ile toprağa karıştırılarak, sıvı UAN ile bitki sırasının 7.5 cm yanına 15 cm derinliğe sıvı gübre uygulayabilen özel üretilmiş çapalama makinesi ile uygulanmıştır (Şekil 1c ve Tablo 1).

Nisan ayının son haftasında yapılan ekimde 54 m² (2.7 m x 20 m) olan parsel kenar tesiri dikkate alınarak Ekim ayının son haftasında el ile hasat edilmiştir. Her bir parselden Ağustos ayının ilk haftasında olgunlaşmasını yeni tamamlamış yapraklar alınmış sap ve aya kısımları ayrılmıştır. Ayrıca hasat zamanında her bir parselden alınan kök ve gövde örnekleri tartımları yapılarak kök+gövde verimleri hesaplanmıştır. Yaprak ayaları, kök ve gövde örnekleri gerekli ön işlemlerden sonra 70 °C'de hava sirkülasyonlu kurutma dolabında (Elektro-Mag M6040P) sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Kurutulan kök+gövde örneklerinin kuru ağırlıkları kaydedilmiş ve kuru madde verimi hesaplanmıştır. Daha sonra bu örneklerden 0.2 g tartılmış ve 5 ml konsantre HNO₃ ve 2 ml H₂O₂ (%30 w/v) ile mikro dalga cihazında (Cem MarsXpress; CEM Corp; Matthews, NC, USA) yüksek basınç altında (200 PSI) çözüldürülmüştür. Analizin güvenilirliğini sağlamak için 40 hücrelik mikrodalga seti içerisine bir adet şahit ve referans materyal olan NIST SRM 1573a yaprak örneği ilave edilmiştir. Çözüldürülen numunelerin hacimleri deiyonize saf su ile 20 ml'ye tamamlanmış ve mavi bantlı filtre kağıdından süzülüp, süzükteki toplam P miktarları ICP-OES cihazında (Agilent, 5110) tespit edilmiş (USDA, 2004) ve ilgili element içeriği sulandırma faktörü dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Ayrıca hasat zamanı alınan kök örneklerinin şeker oranı (ŞO), Na, K ve Amino-N içerikleri Şeker Araştırma Enstitüsü Laboratuvarlarında belirlenmiştir (Kubadinow & Weninger, 1972). Artırılmış şeker oranı (AŞO) ve artırılmış şeker verimi (AŞV) (kg ha⁻¹) aşağıdaki eşitler yardımıyla hesaplanmıştır.

$$AŞO (\%) = \text{ŞO} - \{[0.343 \times (\text{Na} + \text{K})] + (0.094 \times \text{Amino-N}) + 0.29\}$$

$$AŞV (\text{t ha}^{-1}) = \text{kök verimi (kg ha}^{-1}) \times AŞO / 100$$

Uygulamaların şeker pancarı bitkisinin fosforun agronomik ve geri alım etkinliği üzerine etkileri (Moll ve ark., 1982) aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak belirlenmiştir.

Gübre fosforunun agronomik etkinliği (FAgE) = Gübre uygulaması ile elde edilen kök+gövde kuru madde verimi - kontrolde gübre uygulanmaksızın elde edilen kök+gübre kuru madde verimi (kg da⁻¹) / uygulanan fosfor miktarı (kg da⁻¹)

Gübre fosforunun alım etkinliği (FAE) = Gübre uygulaması ile bitki tarafından alınan fosfor miktarı - Kontrolde gübre uygulanmaksızın bitki tarafından alınan fosfor miktarı (kg da⁻¹) / uygulanan fosfor miktarı (kg da⁻¹)

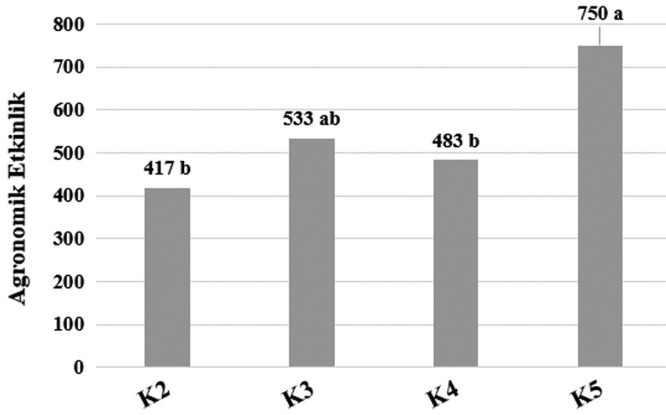
Elde edilen verilerin istatistiksel analizi MSTAT-C istatistik paket programında yapılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Uygulamaların şeker pancarının yaprak ayası, kök+gövde ve kök+gövde ile kaldırılan fosfor içerikleri ve kök+gövde verimini olumlu yönde etkilemiş ve uygulamalar arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar ($p < 0.01$) oluşmuştur (Tablo 2). Şeker pancarının yaprak ayası fosfor içeriği uygulamalara bağlı olarak %0.54 (K4 uygulaması) ile %0.46 (K1 uygulaması) arasında değişim göstermiştir. Kontrolde (K1 uygulaması) göre yaprak ayası fosfor içeriğindeki en yüksek artış %17.4 ile K4 uygulamasında gerçekleşirken, bunu %10.9 artışla K3 ve K5 uygulamaları takip etmiş ve en düşük artış %8.7 ile K2 uygulamasında belirlenmiştir (Tablo 2). Kontrol uygulamasına göre yaprak ayası fosfor içeriğindeki meydana gelen bu artışlar istatistiksel olarak önemli olmakla birlikte K2, K3 ve K5 uygulamalarının aynı grupta yer alması nedeniyle bu uygulamaların kendi aralarındaki farklar istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. En yüksek artışın elde edildiği K4 uygulaması ile geleneksel uygulama olan K2 uygulamasına göre yaprak ayası fosfor içeriğinde %8 oranında artış sağlamıştır. Bulgularımızla uyumlu şekilde sıvı gübre uygulamalarının bitki yaprak fosfor içeriğini katı gübre uygulamalarına göre daha fazla artırdığı farklı araştırmacılar tarafından da belirlenmiştir (Corrêa ve ark., 2018; Hol-loway ve ark., 2001; McBeath ve ark., 2007).

Uygulamalar, şeker pancarı bitkisinin kök+gövde fosfor içeriği ve kök+gövde ile kaldırılan fosfor miktarında artışlar meydana getirmiştir (Tablo 2). Şeker pancarının kök+gövde fosfor içeriği uygulamalara bağlı olarak %0.037 (K1 uygulaması) ile %0.054 (K5 uygulaması) arasında değişim göstermiştir. Uygulamalara bağlı olarak kontrole (K1 uygulaması) göre kök+gövde fosfor içeriğindeki en fazla artış K5 uygulaması ile 1.5 kat elde edilmiş olup bunu sırasıyla K3 uygulaması (1.4 kat), K2 ve K4 uygulamaları (1.3 kat) takip etmiştir. Kök +gövde ile kaldırılan fosfor miktarındaki artışlar kontrole göre artmakla birlikte en yüksek (15.2 kg ha⁻¹) K5 uygulaması ile elde edilmiştir. Bitki kök+gövdesi ile kaldırılan fosfor miktarında geleneksel uygulama olan K2 uygulaması ile K3 ve K4 uygulamaları arasında istatistiksel olarak fark bulunmazken, K5 uygulaması ile geleneksel uygulama olan K2 uygulamasına göre 1.33 kat daha fazla artış sağlanmıştır (Tablo 2).

Üst gübre olarak sıvı UAN uygulanan K3, K4 ve K5 uygulamaları dikkate alındığında; fosforu polifosfat formunda içeren K5 uygulamasına göre K3 ve K4 uygulamalarında bitki kök+gövdesi ile kaldırılan fosfor miktarında sırasıyla %13 ve %25 oranında azalmalar meydana gelmiştir. Nitekim elde ettiğimiz sonuçları destekler şekilde Bertrand ve ark. (2006) tarafından yürütülen bir çalışmada bitki tarafından kaldırılan fosfor miktarını, polifosfat formunda fosforlu gübre uygulamalarının katı formdaki fosforlu gübre uygulamalarına göre daha fazla artırdığını bildirmişlerdir



Şekil 2.

Uygulamaların Şeker Pancarının Yaprak Ayası Fosfor İçeriği, Kök+Gövde Fosfor İçeriği, Kök+Gövde Kaldırılan Fosfor İçeriği ve Kök+Gövde Verimi Üzerine Etkileri.

Şeker pancarının kök+gövde verimi uygulamalara bağlı olarak 71 t ha⁻¹ (K1 uygulaması) ile 116 t ha⁻¹ (K5 uygulaması) arasında değişim göstermiştir. Kontrol (K1 uygulaması) göre kök+gövde verimindeki en yüksek artış %63 ile K5 uygulamasında gerçekleşirken, bunu %45 artışla K3, %41 artışla K4 uygulamaları takip etmiş ve en düşük artış %35 ile K2 uygulamasında belirlenmiştir (Tablo 2). Kontrol uygulamasına göre şeker pancarının kök+gövde veriminde meydana gelen bu artışlar istatistiksel olarak önemli olmakla birlikte K2, K3 ve K4 uygulamaları arasındaki farklar istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. En yüksek artışın sağlandığı K5 uygulaması geleneksel uygulama olan K2 uygulamasına göre şeker pancarının kök+gövde veriminde %28 daha fazla artış sağlamıştır. Ayrıca, fosforu polifosfat formunda içeren sıvı kompoze gübre (K5 uygulaması) uygulaması ile şeker pancarının kök+gövde verimi fosforu ortofosfat formunda içeren sıvı kompoze gübre (K4 uygulaması) uygulamasına göre %16 artış sağlamıştır (Tablo 2). Sıvı gübre uygulamalarının katı gübre uygulamalarına göre daha fazla verim artışı sağladığı farklı araştırmacılar tarafından da belirlenmesi bulgularımızı desteklemektedir (Holloway ve ark., 2001; Kusi ve ark., 2021; Lombi ve ark., 2004).

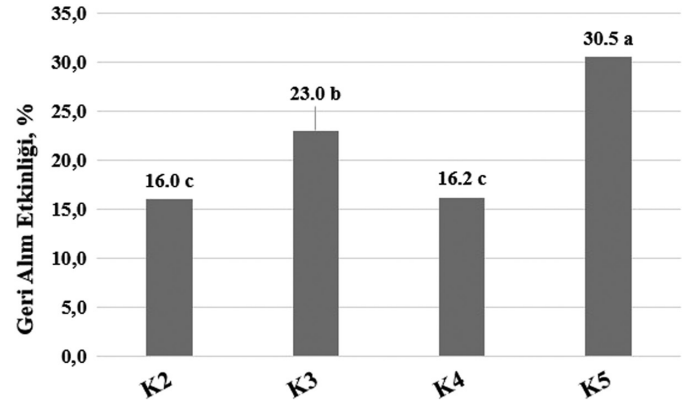
Uygulamalara bağlı olarak şeker pancarının artırılmış şeker verimi 114.0 kg ha⁻¹ (K1 uygulaması) ile 159.8 kg ha⁻¹ (K3 uygulaması) arasında değişim göstermiştir (Tablo 2). Kontrol uygulamasına (K1 uygulaması) göre artırılmış şeker verimindeki K2 uygulaması ile %22, K5 uygulaması ile %34, K4 uygulaması ile %35 ve K3 uygulaması ile %40 oranında artışlar sağlanmıştır. Kontrol uygulamasına göre artırılmış şeker veriminde meydana gelen bu artışlar istatistiksel

Tablo 2.

Uygulamaların Şeker Pancarının Yaprak Ayası Fosfor İçeriği, Kök+Gövde Fosfor İçeriği, Kök+Gövde Kaldırılan Fosfor İçeriği ve Kök+Gövde Verimi Üzerine Etkileri

Uygulamalar	Yaprak ayası P içeriği, %	Kök+gövde P içeriği, %	Kök+gövde kaldırılan P miktarı, kg ha ⁻¹	Kök+gövde verimi, t ha ⁻¹
K1	0,46*c	0,037 b	7,2 c	71 c
K2	0,50 b	0,049 ab	11,4 b	96 b
K3	0,51 b	0,053 a	13,2 b	103 ab
K4	0,54 a	0,047 ab	11,4 b	100 b
K5	0,51 b	0,054 a	15,2 a	116 a

*:Değerler 3 tekrerrün ortalamasıdır. a, b: p<0.01



Şekil 3.

Uygulamaların Şeker Pancarının Şeker Oranı, Potasyum, Sodyum ve Amino-N İçeriği, Artırılmış Şeker Oranı ve Artırılmış Şeker Verimine Etkileri.

olarak önemsiz bulunmakla birlikte en yüksek artışın elde edildiği K3 uygulaması (fosforu ortofosfat formunda içeren katı kompoze gübre üzerine UAN uygulaması), geleneksel uygulama olan K2 uygulamasına göre artırılmış şeker veriminde %15 oranında, K4 uygulamasına (fosforu ortofosfat formunda içeren sıvı kompoze gübre uygulaması) göre artırılmış şeker veriminde %10 oranında daha fazla artış sağlamıştır (Tablo 2). Kusi ve ark. (2021) sonuçlarımızla uyumlu biçimde şeker pancarı verimindeki artış (Tablo 2) ile şeker oranının azalmasına bağlı olarak genelde artırılmış şeker veriminin arttığını (Tablo 3) ve bu artışın katı gübre uygulamalarına göre sıvı gübre uygulamalarında daha fazla olduğunu bildirmişlerdir.

Katı ve sıvı kompoze gübre uygulamalarına bağlı olarak şeker pancarının fosfor agronomik etkinliğinde meydana gelen değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Şekil 1). Şeker pancarının fosfor agronomik etkinliği diğer bir ifade ile toprağa uygulanan gübre fosforunun bir birimi ile oluşan kök+gövde verimi uygulamalara bağlı olarak 417 (K2 uygulaması) ile 750 kg (K5 uygulaması) arasında değişim göstermiştir. Geleneksel uygulama olan K2 uygulamasına göre fosfor agronomik etkinliğinde en yüksek artış sağlandığı K5 uygulaması ile 1.8 kat, K4 uygulaması ile 1.2 kat ve K3 uygulaması ile 1.3 kat artış sağlanmıştır.

Gübre fosforunun geri alım etkinliği diğer bir ifade ile gübre ile verilen fosforun bitki ile geri alınma oranı uygulamalara bağlı olarak değişim göstererek ortalama %21.4 olarak belirlenmiştir. Gübre fosforunun geri alım etkinliği uygulamalara bağlı olarak değişimle %1 seviyesinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. En yüksek fosfor geri alım etkinliği %30.5 ile K5 uygulamasında belirlenirken bunu %23.0 ile K3, %16.2 ile K4 uygulaması takip etmiştir.

Tablo 3.

Uygulamaların Şeker Pancarının Şeker Oranı, Potasyum, Sodyum ve Amino-N İçeriği, Artırılmış Şeker Oranı ve Artırılmış Şeker Verimine Etkileri

Uygulamalar	Şeker Oranı %	K, mek 100 g ⁻¹	Na, mek 100 g ⁻¹	Amino-N, mek 100 g ⁻¹	AŞO, %	AŞV, kg ha ⁻¹
K1	20,27*	4,60	1,14	1,27	17,89	114,0
K2	19,62	4,40	0,93	0,86	17,41	139,4
K3	20,10	3,97	1,06	0,66	18,52	159,8
K4	19,82	3,97	1,05	0,71	17,74	153,6
K5	19,31	4,11	1,29	0,66	17,11	152,5

*, Değerler 3 tekrerrün ortalamasıdır. a, b: p<0.01

En düşük fosfor geri alım etkinliği ise geleneksel uygulama olan K2 uygulaması ile %16.0 olarak belirlenmiştir. Geleneksel olan K2 uygulamasına göre (ekimde katı kompoze gübre uygulamasının üzerine 1. ve 2. çapada azotun Üre şeklinde uygulaması) K3 uygulaması (ekimde katı kompoze gübre uygulamasının üzerine 1. ve 2. çapada azotun sıvı UAN şeklinde uygulaması) fosfor geri alım etkinliğini 1.4 kat artırmıştır. Gerek ortofosfat ve gerekse polifosfat formunda fosfor içeren sıvı kompoze gübre uygulamaları ile fosforun geri alım etkinliğinde ise geleneksel uygulamaya göre (K2) sırasıyla 1.0 (K4) ve 1.9 katlık (K5) artışlar meydana gelmiştir (Tablo 3). Farklı bitkiler üzerinde yapılan çalışmalarda (Holloway ve ark., 2001; Korkmaz ve ark., 2020; Kusi ve ark., 2021; Lombi ve ark., 2004, McBeath ve ark., 2007; Zhao ve ark., 2021) fosfor geri alım etkinliğinin %10-30 arasında değiştiği bildirilmiştir.

Sonuç ve Öneriler

Konya şartlarında fosfor içeriği düşük olan tarla koşullarında şeker pancarının verimi, fosfor içeriği, kalite parametreleri ve fosforun agronomik ve geri alım etkinliği üzerine ortofosfat veya polifosfat formunda fosfor içeren katı ve sıvı fosforlu gübre uygulamaların etkileri karşılaştırılmış olup bu parametrelerin uygulamalara bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Şeker kaynağı olması bakımından önemli bir yere sahip olan şeker pancarının verimi, kalite parametreleri, fosfor içeriği yanı sıra fosfor agronomik ve geri alım etkinliği bakımından, ekimde sıvı şekilde polifosfat formunda fosfor içeren 10-25-20+%8 S+%1 Zn kompoze gübre uygulamasının üzerine 1. ve 2. çapada dekara sırasıyla 6.6 ve 9 kg N olacak şekilde sıvı UAN (%32 N) gübresi uygulamasının (K5) diğer uygulamalara göre daha uygun olduğu bulunmuştur. Kimyasal katı fosforlu gübrelerin olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak, fosfor kullanım etkinliklerini arttırmak için katı fosforlu gübreler yerine sıvı fosfor içerikli kimyasal gübreleri kullanmanın yaygınlaştırılmasını önerebiliriz. Bu gübrelerin verime etkileri dikkate alınarak ekonomik analizlerin yapılması ve daha farklı bitki çeşidinde geniş çalışmaların yapılmasının yararlı olacağına ifade edebiliriz.

Teşekkür

Ülkemizde, sıvı gübre üretimi, uygulanması için özel alet makine üretimi ve kullanımını yaygınlaştırması konusunda destek ve katkı sağlayan GÜBRETAŞ'a, çalışmalarımızı destekleyerek tarımdaki gelişmelere ışık tutulmasına katkıda bulunan Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğüne (TAGEM), Selçuk Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü'ne ve emeği geçen herkese teşekkürü bir borç biliriz.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Yazar Katkıları: Fikir- S.G.; Tasarım - M.H.; Denetleme - F.G.Y., D.A.K.; Kaynaklar - BAP, TAGEM; Malzemeler - S.G.; Veri Toplanması ve/veya İşlemesi - M.H., F.G.Y.; Analiz ve/veya Yorum - F.G.Y., D.A.K.; Literatür Taraması - D.A.K.; Yazıyı Yazan - M.H.; Eleştirel İnceleme - S.G., F.G.Y.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Finansal Destek: Araştırma GÜBRETAŞ, TAGEM ve SÜ BAP Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Author Contributions: Concept - S.G.; Design - M.H.; Supervision - F.G.Y., D.A.K.; Resources - BAP, TAGEM; Materials - S.G.; Data Collection and/or Processing - M.H., F.G.Y.; Analysis and/or Interpretation - F.G.Y., D.A.K.; Literature Search - D.A.K.; Writing Manuscript - M.H.; Critical Review - S.G., F.G.Y.

Declaration of Interests: The authors declare that they have no competing interest.

Funding: The authors declared that this study has received no financial support.

Kaynaklar

- Bertrand, I., McLaughlin, M. J., Holloway, R. E., Armstrong, R. D., & McBeath, T. (2006). Changes in P bioavailability induced by the application of liquid and powder sources of P, N and Zn fertilizers in alkaline soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 74(1), 27–40. [\[CrossRef\]](#)
- Corrêa, J. C., Rebellatto, A., Grohskopf, M. A., Cassol, P. C., Hentz, P., & Rigo, A. Z. (2018). Soil fertility and agriculture yield with the application of organomineral or mineral fertilizers in solid and fluid forms. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira Journals*, 53(05), 633–640.
- Food and Agriculture Organization (1990). *Micronutrient. Assessment at the country level: An international study* (M. Sillanpaa, ed.). FAO Soil Bulletin.
- Hettiarachchi, G. M., Lombi, E., McLaughlin, M. J., Chittleborough, D., & Self, P. (2006). Density changes around phosphorus granules and fluid bands in a calcareous soil. *Soil Science Society of America Journal*, 70(3), 960–966. [\[CrossRef\]](#)
- Holloway, R. E., Bertrand, I., Frischke, A. J., Brace, D. M., McLaughlin, M. J., & Shepperd, W. (2001). Improving fertiliser efficiency on calcareous and alkaline soils with fluid sources of P, N and Zn. *Plant and Soil*, 236(2), 209–219. [\[CrossRef\]](#)
- Korkmaz, A., Yılmaz Gökmen, F., & Gegin, S. (2021). Organomineral ve kimyasal gübre ile farklı fosfor uygulamalarının silaj mısırın verimi ve fosfor kullanım etkinliği üzerine etkileri. *Anadolu Tarım Bilim. Derg.*, 36, 268–275.
- Kubadinow, N., & Wienninger, L. (1972). *Comp. Rent. XIV. Ass. Comm. Int. Teach Sucr. (Cits)*. Brussel, 1971, 539: S.A. Zucker. 25: 43.
- Kusi, N. Y. O., Stevens, W. B., Sintim, H. Y., Garcia y Garcia, A. G., & Mesbah, A. O. (2021). Phosphorus fertilization and enhanced efficiency products effects on sugarbeet. *Industrial Crops and Products*, 171, 113887. [\[CrossRef\]](#)
- Lombi, E., McLaughlin, M. J., Johnston, C., Armstrong, R. D., & Holloway, R. E. (2005). Mobility, solubility and lability of fluid and granular forms of P fertiliser in calcareous and non-calcareous soils under laboratory conditions. *Plant and Soil*, 269(1–2), 25–34. [\[CrossRef\]](#)
- Lombi, E., McLaughlin, M. J., Johnston, C., Armstrong, R. D., & Holloway, R. E. (2005). Mobility, solubility and lability of fluid and granular forms of P fertiliser in calcareous and non-calcareous soils under laboratory conditions. *Plant and Soil*, 269(1–2), 25–34. [\[CrossRef\]](#)
- McBeath, T. M., Armstrong, R. D., Lombi, E., McLaughlin, M. J., & Holloway, R. E. (2005). The responsiveness of wheat (*Triticum aestivum*) to liquid and granular phosphorus fertilisers in Southern Australian soils. *Australian Journal of Soil Research*, 43, 203–212.
- McBeath, T. M., McLaughlin, M. J., Armstrong, R. D., Bell, M., Bolland, M. D. A., Conyers, M. K., Holloway, R. E., & Mason, S. D. (2007). Predicting the response of wheat (*Triticum aestivum* L.) to liquid and granular phosphorus fertilisers in Australian soils. *Soil Research*, 45(6), 448–458. [\[CrossRef\]](#)
- Moll, R. H., Kamprath, E. J., & Jackson, W. A. (1982). Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization 1. *Agronomy Journal*, 74(3), 562–564. [\[CrossRef\]](#)
- Montalvo, D., Degryse, F., & McLaughlin, M. J. (2015). Agronomic effectiveness of granular and fluid phosphorus fertilizers in andisols and oxisols. *Soil Science Society of America Journal*, 79(2), 577–584. [\[CrossRef\]](#)
- Sims, A. L. (2010). Sugarbeet response to broadcast and starter phosphorus applications in the Red River Valley of Minnesota. *Agronomy Journal*, 102(5), 1369–1378. [\[CrossRef\]](#)
- Türkiye İstatistik Kurumu (2021). Bitkisel üretim İstatistikleri veri Tabanı. Retrieved from www.tuik.gov.tr. Erişim Tarihi: 2021.
- Usda, N. (2004). *The PLANTS database version 3.5*. National Plant Data Center.
- Zhao, Y., Li, R., Huang, Y., Sun, X., Qin, W., Wei, F., & Ye, Y. (2021). Effects of various phosphorus fertilizers on maize yield and phosphorus uptake in soils with different pH values. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 68(12), 1746–1754. [\[CrossRef\]](#)

Çelik Cüruflarının Tarımsal Amaçlı Kullanılması

Use of Steel Slags for Agricultural Purposes

ÖZ

Çelik cürufları çelik üretimi sırasında oluşan, depolanması veya bertaraf edilmesi çevresel sorun olabilen endüstriyel bir işlemin yan ürünleridir. Çelik cürufları, yüksek miktarda CaO içermeleri nedeniyle, toprak asiditesinin giderilmesinde toprak düzenleyicisi olarak ve aynı zamanda çeşitli konsantrasyonlarda fosfor (P), kükürt (S), mangan (Mn), demir (Fe), molibden (Mo) ve silisyum (Si) gibi bitki besin elementlerine sahip olmaları nedeniyle toprak verimliliğine ve ürün kalitesine katkı sağlamak amacıyla mineral gübre olarak kullanılmaya potansiyeline sahiptirler. İçerdikleri kalsiyum silikat nedeniyle çelik cürufları buğday, çeltik ve şeker kamışı gibi silisyuma duyarlılık gösteren bazı bitkiler için önemli bir besin elementi kaynağı ve birçok kültür bitkisi için de hastalıklara karşı direnç artırıcı önemli bir ürün olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında değerlendirilen literatür bulguları; çelik cüruflarının tarımda alternatif kireçleme materyali olarak asit toprakların ıslahında etkin bir şekilde kullanılabileceğini, önemli miktar ve çeşitlilikte temel bitki besin elementlerine sahip olması nedeniyle toprak verimliliğine ve dolayısıyla da ürün miktarına katkı sağlama potansiyelinin olduğunu ve aynı zamanda doğrudan gübre olarak kullanılabileceği gibi, bitkisel ve hayvansal atıklarla karıştırılıp kompost yapılarak da etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Bazik oksijen fırını cürufları, elektrik ark ocağı cürufları, indüksiyon ocağı cürufları, toprak düzenleyici, mineral gübre



ABSTRACT

Steel slags are by-products of an industrial process formed during steelmaking, whose storage or disposal can be an environmental concern. Steel slags, due to their high CaO content, are used as soil conditioners for removing soil acidity and have the potential to be used as mineral fertilizers to contribute to soil fertility and crop quality in various concentrations such as phosphorus, sulfur, manganese, iron, molybdenum, and silicon. Due to their calcium silicate content, steel slags are defined as an important source of nutrients for some plants sensitive to silicon, such as wheat, paddy, and sugar cane, and an important input to increase resistance to diseases for many cultivated plants. This study shows that steel slags can be used effectively in the reclamation of acid soils as an alternative liming material in agriculture, and they have the potential to contribute to soil fertility and thus to crop yield as they contain a significant amount and variety of essential plant nutrients. Steel slags can also be used directly as fertilizer or mixed with vegetable and animal wastes and used as compost.

Keywords: Basic oxygen furnace slags, electric arc furnace slags, induction furnace slags, soil conditioner, mineral fertilizer

Giriş

Çelik cürufları, çelik üretimi sırasında Bazik Oksijen Fırını (BOF), Elektrik Ark Ocağı (EAO) ve İndüksiyon Ocağında (İO) metal eriyiğinin rafinasyonu ve oksitlenmesi sırasında, yoğunluğunun çeliktan daha düşük olması sebebiyle, çeliğin üzerinde oluşan cüruftur. Türkiye 2021 yılında 40,4 milyon ton çelik üretimi yaparak Avrupa'nın en büyük, dünyanın 7. büyük çelik üreticisi konumunda yer almaktadır (Yayan, 2022). 2021 yılı itibarıyla Türkiye'de mevcut 37 adet tesisin 26 tanesi EAO, 8 tanesi İO ve 3 tanesi BOF ile ham çelik üretimi yapmaktadır. İO ile üretim yapan tesislerin sayısı ve üretim miktarları, BOF ve EAO'larına oranla çok düşük olduğundan İO bu çalışma kapsamında değerlendirilmemiştir. Çelik cürufu miktarı ton ham çelik başına, 150–200 kg arasındadır. 2018 yılında, Türkiye genelinde 37.311.733 ton ham çelik üretimi sonucunda 5.562.018 ton cüruf açığa çıkmıştır (STB, 2020; TÇÜD, 2021).

Gülşen TOZSİN¹
Taşkın ÖZTAŞ²

¹Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

²Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Erzurum, Türkiye



Geliş Tarihi/Received: 09.05.2022

Kabul Tarihi/Accepted: 14.10.2022

Yayınlanma Tarihi/Publication Date: 30.01.2023

Sorumlu Yazar/Corresponding Author:
Gülşen TOZSİN
E-mail: gulsentozsin@gmail.com

Cite this article as: Tozsin, G., & Öztaş, T. (2022). Use of steel slags for agricultural purposes. *Research in Agricultural Sciences*, 54(1), 36-41.



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

Türkiye'de demir-çelik sektörünün en önemli yan ürünü olan ve cürufaların yaklaşık yarısını oluşturan yüksek fırın (YF) cürufu tekrar kullanılmak üzere çimento fabrikalarına gönderilirken, geriye kalan çelik cürufları atık sahalarında depolanmakta ve ekonomik anlamda atıl bırakılmaktadır. Oysaki çelik cürufları iyi bir toprak düzenleyici olduğu kadar mineral gübre olarak önemli bir kullanım potansiyeline sahiptir. Bu nedenle, çelik cürufları bitki büyümesini teşvik etmek, toprağın yapısal özelliklerini düzenlemek ve ürün verimini artırmak amacıyla gübre veya toprak düzenleyici olarak çevre dostu bir uygulama fırsatı sunabilmektedir (Wen ve ark., 2020).

Endüstriyel bir işlemin yan ürünü olarak ortaya çıkan çelik cürufları, ticari olarak üretilen kireç taşına göre önemli maliyet avantajları sunmaktadır. Ayrıca, çelik cürufları bir kireçleme materyali olmanın ötesinde içerdikleri besin elementleri ve silis nedeniyle mineral gübre olarak toprağın üretim gücüne, Ca, Mg ve Fe içeriklerinden dolayı da toprağın strüktürel gelişimine katkı sağlayabilmekte ve mantar enfeksiyonlarını da ciddi boyutlarda azaltabilmektedir (Das ve ark., 2019; Mamatha ve ark., 2018; Yang ve ark., 2018).

Çelik üretimi sırasında oluşan cüruflar, çimento üretimi, yol yapımı, arazi dolgu malzemesi, gübre ve toprak düzenleyici olarak farklı alanlarda kullanım potansiyeline sahiptirler (Branca ve ark., 2014). Birçok ülkede çelik cürufları, yüksek miktarlarda Ca ve Mg içermeleri nedeniyle toprak düzenleyici olarak, diğer yandan bitkilerin hastalık ve zararlılara karşı direncini artırmak amacıyla doğrudan silisyum gübresi veya fosforlu gübre üretimi ve mikro-element katkısı için gübre üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır. Hammadde kaynağı, çelik üretim yöntemi, fırın koşulları vb. değişkenler nedeniyle farklı miktarlarda olsa bile çelik cürufları tarımsal anlamda önemli düzeyde CaO, MgO, SiO₂, P₂O₅ ve MnO içermektedirler (Proctor ve ark., 2000; Reuter ve ark., 2004; Yi ve ark., 2012).

Çelik cürufları alkalin karakterlidir ve pH'sı genellikle 8-10 arasında değişmekle birlikte eğer yüksek miktarlarda serbest CaO içeriyor ise pH'sı 12 veya daha yüksek değerlere ulaşabilmektedir. Çelik cüruflarındaki kireçlenme materyali suda çözünür ve daha az çözünür Ca ve Mg içermektedir. Bünyelerindeki serbest Ca, su ile hızlı bir tepkimeye girerek Ca(OH)₂'i oluşturmakta ve ortaya çıkan Ca(OH)₂ ise aktif toprak asitliliğine karşı hızlı bir tepki vermektedir. Suda daha az çözünür silikat bileşikler ise daha yavaş reaksiyona girerek toprak pH'sının daha uzun süreli tamponlanmasına olanak sağlamaktadır. Diğer bir ifadeyle, yüksek derecede alkalin karakterli olan Ca-silikat toprakta uzun süreli bir kireç çözücü madde görevi görürken, toprak reaksiyonundaki ani kireçlenme etkisi, serbest CaO ve MgO'dan ortaya çıkmaktadır (NLA, 1990; Yonar, 2017).

Çelik Cüruflarının Toprak Düzenleyici Olarak Kullanılması

Endüstriyel atık malzemelerin sorunlu toprakların iyileştirilmesinde kullanılması uygun maliyetli ve çevre dostu bir yöntemdir. Toprak pH'sının 5.5'ten daha düşük olduğu koşullarda, ağır metallerin çözünürlüğü artmakta ve bu durum ağır metallerin bitkiler tarafından daha fazla alınmasına yol açmaktadır. Mihalache ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada, farklı dozlarda (kontrol, 1 t/ha, 2 t/ha, 3 t/ha, 5 t/ha) çelik cürufu uygulamasının buğday verimini artırdığını, Cu, Cd, Co, Ni, Pb ve Zn miktarı açısından bitki üzerinde bir sorun yaratmadığını belirterek, cürufun toprak asitliliğini düzeltmek, toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini ve toprak verimliliğini artırmak için başarıyla kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Chand ve ark. (2015) entegre çelik tesislerinde geri dönüştürülebilir atıklardan biri olan BOF cüruflarının tarımda mevcut ve olası kullanımı ile ilgili çalışmaları topladığı derlemede, cürufun tarım topraklarında toprak asitliliğini nötralize etmek için kireç taşı yerine başarıyla kullanılabileceğini ve gübre materyali olarak değerlendirilmesinin mümkün olabileceğini değerlendirmişlerdir. Benzer şekilde, Das ve ark. (2007) BOF cüruflarının tarımsal gübre ve toprak düzenleyici olarak güvenli ve etkin bir şekilde kullanılabileceğine dikkat çekmişlerdir. Demir ve çelik-üretim endüstrisinin yan ürünü olan ve %29 Ca, %21 Fe ve %5 Mg içeren BOF cürufunun dolomit kireçleme malzemesi olarak mera topraklarında kullanım olanaklarını inceleyen Pinto ve ark. (1995), cüruf uygulamasıyla (0, 1, 1,5, 3, 5 ve 7,5 t/ ha) toprak pH'sının önemli düzeyde ve doğrusal olarak yükseldiğini ve mera veriminin hektara 3 ton cüruf uygulamasıyla %41 oranında arttığını belirtmişlerdir.

Munn (2005) yaptığı çalışmada, ABD'nin Ohio Eyaletinde, çelik endüstrisi cüruflarını tarım ve asidik maden alanlarının ıslahı için kireçleme materyali olarak kullanmış ve 3 yıllık sera denemesiyle asidik maden alanlarındaki topraklarda cüruf uygulamasının bitki gelişimi üzerine etkilerini incelemiştir. Çelik cürufu, pH'sı 3,5 olan asit toprağa uygulanmış ve farklı ardeşik bitkiler; yulaf (*Avena sativa* L.), buğday (*Triticum aestivum* L.), mısır (*Zea mays* L.), buğday ve soya fasulyesi (*Glycine max* (L.) Merr.) yetiştirilerek fide aşamasında hasat edilmişlerdir. Çelik cürufu uygulamasının kontrole göre verimi $p < ,01$ seviyesinde artırdığı belirlenmiştir. Uygulamaya bağlı olarak; toprak ve bitkinin Ca ve Mg içeriğinin arttığı, bitkinin Al ve Mn içeriğinin önemli düzeylerde azaldığı ve çelik cürufların yüksek Fe içeriğine rağmen cüruf ile muamele edilmiş bitki dokularında yüksek miktarlarda depolanmadığı belirlenmiştir.

Kore, Japonya, Bangladeş ve Çin gibi çeltik üretiminin hayati önem taşıdığı ülkelerde, çeltik üretiminin stabilize edilmesi, çeltik tarlalarından ortaya çıkan sera gazı emisyonlarının azaltılması ve çok daha önemlisi toprak verimliliğinin artırılması amacıyla çelik cürufları toprak düzenleyici olarak etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Wang ve ark. (2018a) yaptıkları çalışmada, çelik cüruflarının Fe ve diğer besin elementleri bakımından oldukça zengin olduğunu belirterek, toprağa uygulanması durumunda özellikle çeltik tarlalarında asidik toprak pH'sının yükseltilebileceğine, bu alanlarda meydana gelen metan emisyonunun azaltılabileceğine, toprak kalitesinin iyileştirilebileceğine ve çeltik veriminde önemli düzeylerde artış sağlanabileceğine dikkat çekmişlerdir. Makela ve ark. (2012) çelik cüruflarının, küspe ve kağıt endüstrisi katı atıklarıyla karıştırılmasıyla elde edilen kompostun asit karakterli toprakların ıslahında oldukça başarılı sonuçlar verdiğini, bu nedenle ticari gübrelerle ikame edilebileceğini belirtmişlerdir.

Wang ve ark. (2018b) yaptıkları çalışmada, çelik cüruflarının çeltik tarlalarına uygulanmasının bitki-toprak besin dağılımı ve verim üzerine etkilerini incelemişler, uygulamaya bağlı olarak toprakta N ve P miktarının arttığı, yarayışlı-N/yarayışlı-P oranının azaldığı, toprakta Ca ve Si konsantrasyonlarının ve yaprak ve kök N ve P konsantrasyonlarının önemli düzeyde arttığını belirlemişlerdir. Toprağın P, Ca ve Mg içeriğindeki artışa bağlı olarak çeltik veriminin de arttığını ifade etmişlerdir. Çelik cürufu uygulaması ile verim arasında pozitif bir ilişkinin tespit edildiği ve bunun da uygulamaya bağlı olarak toprakta Ca, Si ve P yarayışlılığının artmasına (toplam etkinin %35'i) bağlı dolaylı bir etki olduğuna dikkat çekmişlerdir. Sonuç olarak, çeltik tarlalarına çelik cürufu uygulamasının, besin

elementi kullanımını teşvik ederek bitki gelişimini ve verimi artırdığı, toprak ve bitki kimyasını düzenlediği belirlenmiştir. Aynı çalışmada Wang ve ark. (2018b) toprak düzenleyicisi olarak çelik cürufu ve biocharı hem ayrı ayrı hem de birlikte uygulayarak, toprak organik C stoku üzerine etkilerini incelemişler ve toprağın 30 cm'lik üst toprak katmanındaki organik C miktarının 8 ton ha⁻¹ oranındaki uygulamalara bağlı olarak %28,7–%42,2 oranında arttığını ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada ayrıca çelik cürufu uygulamasının, toprak mantar popülasyonunu kontrol toprağına göre %62,8 oranında azalttığı, toprak tuzluluğunda istatistiksel anlamda önemli olmakla birlikte az da olsa yükselttiği saptanmıştır.

Çelik Cüruflarının Mineral Gübre Olarak Kullanılması

Çelik cürufu gübreleri; cüruf silikatlı gübre, kireçli gübre, cüruf fosfatlı gübre veya Fe-katkılı özel gübre olarak kategorize edilmekte ve bol miktarda Ca, Si, Mg, P, Mn ve Fe içermektedirler. Çelik cürufları yüksek miktarda CaO, SiO₂ ve MgO gibi bileşenleri içerdiklerinden dünyanın birçok bölgesinde silikat gübresi olarak kullanılmaktadır. Çelik cürufları ayrıca Fe₂O₃, MnO ve P₂O₅ gibi temel bitki besinlerini de içerdiklerinden, tarım ve mera alanlarında da gübre olarak etkin bir şekilde kullanım potansiyeline sahiptirler. Çelik cüruflarının kalsiyum silikat gübresi olarak uygulandığı topraklarda bitki besin elementi dengesinin özellikle Si, Fe, Ca, Mg, P, Mn ve B arasında hızla sağlanabildiği görülmektedir. Si birçok kültür bitkisinde; fotosentezi teşvik etmesi, kök aktivitesini artırması, alt yaprakların sararmasını engellemesi, gövde dayanıklılığını artırması ve yanık oluşumuna engel olması sebebiyle önemli bir besin elementidir. Bu nedenle, kalsiyum silikat uygulamasına bağlı olarak verimde, kalite ve kantite yönünde önemli artışlar meydana gelmekte, özellikle kuru madde üretimi ve tane verimi artmakta, görünüm ve tat göstergeleri pozitif yönde değişmektedir. Ayrıca, Fe, Mn ve P takviyesi nedeniyle ürün verimi artmakta, kök çürüklüğü ve yaprak yanması başta olmak üzere ürün kaybına yol açan olumsuzluklar ortadan kalkmaktadır (Ito, 2015; Yonar, 2017).

Diğer yandan, çelik cüruflarının Fe gübresi olarak kullanım etkinliğinin belirlenmesi üzerine yapılan çalışmalarda, Fe eksikliği olan kireçli topraklarda uygulama dozuna bağlı olarak verim ve bitki Fe alımında çok önemli düzeylerde artışlar sağlandığı ortaya konulmuştur. Xian and QingSheng (2006) çelik cürufunu doğrudan veya asitleştirilmiş formda 2 farklı dozda (10 ve 20 g/kg) kireçli toprağı uygulamış ve uygulama sonunda mısır bitkisinin kuru madde oranında ve bitki Fe içeriğinde istatistiksel manada çok önemli artışların olduğunu belirlemişlerdir. Yapılan bu çalışmada, araştırmacılar cürufun Fe eksikliği bulunan kalkerli topraklarda verimi artırmak ve Fe kaynaklı kloroz etkisini azaltmak amacıyla etkin ve ekonomik olarak kullanılabileceğine dikkat çekmişlerdir.

Ito (2015) çelik cüruflarının gübre için hammadde olarak kullanılmasının 1878 yılında İngiltere'de Thomas dönüştürücü sürecinin icadına kadar gittiğini belirtmektedir. 1882 yılında, Wagner, Thomas dönüştürücü prosesinde üretilen cürufun fosfatlı gübre haline getirilebileceğini açıklamış ve cüruftan üretilen "Thomas fosfatlı gübre" çok kısa sürede değerli bir fosfor kaynağı olarak kullanılmaya başlanmıştır. 1960'lı yıllarda Almanya'da Thomas fosfat gübre üretim miktarının 2 500 000 tona ulaştığı rapor edilmiştir. Ancak 1970 yıllarda kompoze gübre (NPK) üretimiyle birlikte, Thomas fosfat gübre üretiminin hızlı bir şekilde azaldığı ve günümüzde artık üretilmediği bildirilmektedir.

Cürufun resmi onaylı silikatlı gübre olarak kullanımına ilk defa 1955 yılında Japonya Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından başlanmıştır. Araştırma sonuçlarına dayalı olarak BOF cürufunun sıradan bir gübre olarak kullanımı ise 1981 yılında onaylanmıştır. Japonya'da cüruf halihazırda 4 farklı gübre çeşidinin, silikatlı gübre, tarım kireci, fosforlu gübre ve Fe içerikli özel gübre, üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır. Özellikle BOF cüruflarının Ca, Mg ve Si yanı sıra Fe, Mn ve B gibi farklı iz elementler içermesi gübre üretiminde kullanılmasını ön plana çıkarmaktadır (Horii ve ark., 2015). Çelik cüruflarının Çin'de gübre olarak kullanılması 2011 yılında Taiyuan Demir ve Çelik Grubu ile ABD Harsco Şirketinin ortak yatırımlarıyla başlatılan "İlk Çelik Cürufu Gübre Programı" ile hayata geçirilmiştir (Yi et al, 2012).

Ito (2015) yaptığı çalışmada; Japonya Nippon Cüruf Birliği'nin 2012 yılı cüruf kullanımına ait istatistikleri paylaşarak, çelik cüruflarının inşaat alanında 3 470 000 ton, çimento üretiminde 530 000 ton ve altlık materyali olarak 260 000 ton olarak kullanıldığını belirtmiştir. Cürufların gübre hammaddesi veya toprak düzenleyici olarak kullanımının ise halen istenilen düzeyde olmadığına (100 000 ton çelik cürufu) dikkat çekmiştir. Hindistan Tarım Bakanlığı, çelik cüruflarının Ca, P ve Fe gibi besin elementleriyle zenginleştirilmesiyle elde edilen ve Hindistan Gübre Birliği tarafından üretilen Growell adlı ürünü toprak düzenleyici olarak onaylamıştır. Söz konusu ürünün asidik topraklarda oldukça başarılı sonuçlar verdiği ve verimin en az %25 arttığı belirlenmiştir (Chand ve ark., 2015). Branca ve ark. (2014) İtalya ve Almanya'da cürufun tarımda mineral gübre olarak kullanılmasıyla ilgili uzun süreli tarla denemesi yaptıkları çalışmalarında, Almanya'daki denemelerinde BOF cürufunu, referans kireçleme materyali ve ticari mineral gübrelerle karşılaştırmışlar, uzun süreli cüruf uygulamasının ürün miktarını ve besleme kalitesini önemli derecede artırdığını ve toprakta Cr ve V miktarında artışlar olmakla birlikte toprak verimliliğinde herhangi bir olumsuz etkinin ortaya çıkmadığını rapor etmişlerdir. İtalya'da yaptıkları denemelerde ise, uzun süreli cüruf uygulamasının toprakta değişebilir Ca miktarını önemli düzeyde artırdığını, buna rağmen Na miktarında sodikliğe yol açabilecek bir artışın meydana gelmediğini, diğer yandan yüksek dozda (7 g/kg) cüruf uygulamasının drenaj suyunda yüksek miktarda V yıkanmasına yol açtığına dikkat çekmişlerdir.

Çelik cürufları Si, Ca, P, Mg, Mn ve Fe gibi gübrelemeye gerekli birçok besin elementini içermektedir. Doğrudan gübre olarak kullanılabilecekleri gibi, çelik cürufları bitkisel ve hayvansal atıklarla karıştırılıp kompost yapılarak da daha etkin bir şekilde kullanılabilir. Kompostlanmış hayvan gübresi N ve P kaynağı olarak kullanılmaktadır. Çelik cüruflarının hayvan gübresi ile karıştırılarak N ve P yanısıra Si, Ca, Mg, Mn ve Fe gibi elementlerce zenginleştirilmiş bir kompost halinde toprağı uygulanmasıyla oldukça başarılı sonuçlar alınabilmektedir. Ito (2015) yaptığı çalışmada, sığır gübresine ağırlık esasına göre %15 oranında cüruf karıştırılmasıyla hazırlanan kompostun, yüzeyden 20 cm derinlikte sıcaklığı 70°C'ye kadar yükseldiğini, kontrol grubunda ise bu sıcaklığın sadece 58 °C ye kadar yükseldiğini, her 10 günde bir karıştırıldığı durumda bile sıcaklığın kısa bir düşüşten sonra 65–70°C lerde sabitlendiğini, bu nedenle de kompostlamada cüruf kullanımının süreci hızlandırarak daha kısa sürede kompost elde edilebileceğini ifade etmiştir. Aynı çalışmada cüruf karıştırılan kompostun daha yüksek oranda bir çimlenme sağladığı ve verimi önemli derecede artırdığı belirtilmiştir.

Çelik cüruflarının toprağı mineral gübre olarak uygulanmasında temel amaç besin elementi sağlamaktır. Ancak bu atıkların insan,

hayvan, bitki ve çevre sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olmamalıdır. Dolayısıyla çelik cüruflarının tarımda verim üzerine etkileri incelenirken, ağır metal ve tuz içeriği nedeniyle toprak sağlığı ve yeraltı suyu kalitesi bakımından da dikkatle izlenmesi gerekmektedir. Yüksek etkinlik ve düşük maliyetli olması sebebiyle çelik cürufları dünyanın birçok ülkesinde tarım topraklarında toprak asitliğini nötralize etmek amacıyla kireç taşı yerine başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Chand ve ark. (2015) tarımda daha etkili ve sürdürülebilir kullanımını incelemek amacıyla çelik cüruflarında bulunan ağır metallerin topraktaki davranış ve immobilizasyonu üzerine yaptıkları çalışmada, topraktaki ağır metal konsantrasyonunun yönetmeliklerde belirtilen sınır değerlerin altında olduğunu ifade etmişlerdir. Wang ve ark. (2015) çelik cüruflarının, toprakta ve dane üzerinde olumsuz etki yaratabilecek konsantrasyonlarda ağır metal birikimine yol açmadan, çeltik dane veriminin artırılması ve çeltik alanlarından kaynaklanan CH₄ ve N₂O emisyonunun azaltılmasında etkili bir toprak düzenleyicisi olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Çelik cüruflarından üretilen gübrenin bitkiler tarafından fazlaca tüketilen Ca ve Mg gibi besin elementleri içermesi yanı sıra, Fe ve Mn gibi mikro bitki besin elementlerini özellikle de bazı özel ürünler için zaruri olan Si içermesi gübreleme açısından önem arz etmektedir. Ancak, cüruftan üretilen gübrenin bitkiler için temel besin elementi olarak kabul edilen ve makro düzeyde ihtiyaç duyulan N, P ve K eksikliğini tamamen ortadan kaldırması beklenmemelidir. Çünkü cürufun N ve K içeriği çok düşük, P içeriği ise bitkinin optimum düzeyde isteklerini karşılayabilecek miktarlarda değildir. Dolayısıyla üretilecek gübrenin bir miktar NPK gübresiyle birlikte kullanılması gerekmektedir (Das ve ark., 2020; Ito, 2015). Toprağa ilave edilecek kireç miktarı, kullanılan kireç materyalinin özellikleri yanı sıra, ıslah edilecek toprak tabakasının kalınlığına, tekstür ve toprağın başlangıç pH'sı başta olmak üzere toprak özelliklerine ve yetiştirilecek ürün isteklerine bağlı olarak önemli düzeylerde farklılıklar gösterebilmektedir. Uygulanacak kireçleme materyalinin CaO içeriği ve tane büyüklüğü oldukça önemlidir. Kireçleme materyalinin CaO içeriği arttıkça birim alana uygulanacak miktarı azalırken, tane büyüklüğünün küçük olması spesifik yüzey alanının artmasına sebep olduğundan kimyasal etkinliğinin yüksek olmasını sağlayacaktır. Kireçleme materyalinin uygulanacağı toprak tabakasının kalınlığı genellikle 15–20 cm olarak dikkate alınmaktadır. Bu derinlik birçok kültür bitkisinin kök yoğunluğunun %80'inin bulunduğu, suyu ve bitki besin maddeleri yoğun olarak kullandığı ve mikrobiyal aktivitenin en yüksek olduğu toprak derinliğidir (Anderson ve ark., 2013; USDA, 1999).

Asidik toprakların ıslahı açısından toprağın tamponlama kapasitesi büyük önem taşımaktadır. Toprağın tamponlama kapasitesi toprak tekstürünün, topraktaki hakim kil tipinin ve toprağın organik madde içeriğinin bir fonksiyonudur. Özellikle simektit grubu 2:1 tipi kil minerallerince zengin, fazla miktarlarda kil ve organik madde içeren toprakların tamponlama kapasitesi yüksektir. Birçok kültür bitkisi için nötr pH (6.7–7.2), bitki gelişimi ve besin elementi alımı için idealdir. Ancak düşük pH isteği olan bitkilerde aşırı kireçleme özellikle Cu ve Zn gibi mikro elementler açısından olumsuz etkiler yaratabilmektedir (Curtin & Trollove, 2013; Goulding, 2016; Neina, 2019). Asidik toprakların ıslahında kullanılan tarımsal kireç materyali genellikle her 3–5 yılda bir toprağa yeniden uygulanmaktadır. Kireç taşının çözünürlüğünün düşük olması istenilen toprak pH'sının bu süre boyunca stabil kalmasını sağlayabilmektedir. Çelik cürufu uygulamalarında ise bu durum biraz farklıdır. Cüruftaki CaO toprak nemi ile reaksiyona girdiğinde ortaya çıkan Ca(OH)₂ toprak pH'sında ani bir yükselme meydana

getirmektedir. Ancak bu durum geçici olmakta ve istenilen pH, cüruf içindeki az çözünür kireçli bileşenlerin toprakla tepkimeye girmesiyle ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla çelik cüruflarının kireçleme amacıyla toprağa uygulanma sıklığı, cürufların istenen toprak pH'sını koruyabildiği süreye bağlı olarak değişir ve bu durum toprak reaksiyonunun birkaç yıl aralıklarla izlenmesiyle tespit edilebilir (Yonar, 2017).

Çelik cüruflarının tarımsal kireç materyali olarak kullanılması durumunda, bu cürufların uygulanmasına bağlı olarak toprağa ilave edilen tuz miktarı, değerlendirilmesi gereken en önemli hususlardan biridir. Kireç taşının sudaki çözünürlüğü düşük olduğundan bu materyallerin kullanılmasıyla toprakta biriken çözünebilir tuzların miktarı ciddi bir risk oluşturmamaktadır. Fakat, çelik cüruflarının suda çözünebilir tuz içeriği kireç taşına göre çok daha yüksektir. Cürufdaki CaO ve MgO su ile reaksiyona girerek Ca(OH)₂ ve Mg(OH)₂'i oluşturmaktadır. Bu hidroksitlerin suda çözünürlüğü sırasıyla 1.20 g/L ve 0,009 g/L olup, CaCO₃ (0,014 g/L) ve MgCO₃'a (0,013 g/L) oranla çok daha yüksektir (Beck & Daniels, 2008; NLA, 1990). Ancak, cürufun toprak pH'sının nötralizasyonu amacıyla optimum dozlarda uygulandığı koşullarda, çözünebilir tuzların yağışlı bölgelerde ve iyi-drenajlı topraklarda sorun olması beklenmemektedir. Beck ve Daniels (2008) yaptıkları çalışmada ince ve kaba çelik cüruflarının çözünebilir tuz içeriklerinin sırasıyla 3,68 ve 2,55 dS/m olduğunu belirtmişlerdir. Bitkilerin 4 dS/m'ye kadar olan toprak tuzluluğunu tolere edebilir oldukları dikkate alındığında, çelik cüruflarının uygulanması ile toprakta çözünebilir tuzlarla ilgili ciddi bir sorun olması beklenmemektedir. Ancak çelik cüruflarının yüksek dozlarda uygulandığı alanlarda çözülebilir tuzların ve toprak tuzluluğunun izlenmesi gerekmektedir.

Çelik cüruflarıyla birlikte toprağa ilave edilen ağır metal miktarının da mutlaka izlenmesi gerekmektedir. Çelik cürufları çeşitli konsantrasyonlarda ağır metal içerebilmektedir. Yapılan çalışmalar çelik cürufu uygulaması ile toprağa ilave edilen ağır metal miktarlarının kabul edilebilir sınır değerlerin genellikle çok altında kaldığını göstermektedir. Çelik cüruflarının kireçleme materyali olarak kullanıldığı durumlarda, toprak pH'sının nötr olduğu koşullar için, Al, Cr (III), Pb, Cd, Ni, Co, Be, Ba ve Sr gibi metallerin topraktaki çözünürlüklerinin düşük olması nedeniyle herhangi bir risk oluşturmadığı görülmektedir (NSA, 2021; Yonar, 2017).

Toprak Düzenleyici ve/veya Mineral Gübre Olarak Kullanımı Açısından Çelik Cüruflarının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Çelik cüruflarının en önemli fiziksel özelliği tane büyüklük dağılımıdır. Tarımsal açıdan kireçleme materyali olarak kullanılacak cüruf ne kadar küçük olursa, o kadar reaktif olacağından toprak asitliğinin nötralizasyonundaki etkinliği de o ölçüde artacaktır. Tane büyüklük dağılımı bakımından cürufun %90'ının 20 mesh (841 mikron) elekten geçmesi önerilmektedir. Çelik cüruflarının hacim ağırlığı ve özgül ağırlığı tarımsal kireç materyaline oranla daha yüksektir. Bu durum çelik cüruflarının içerdiği metal miktarıyla doğrudan ilgilidir. Çelik cüruflarının hacim ağırlığı 1.6 ile 1.9 g/cm³ arasında değişirken, tarımsal kireç materyalininki 1.4 ile 1.5 g/cm³ arasında değişmektedir. Benzer şekilde çelik cüruflarının özgül ağırlığı 3.2–3.6 g/cm³ arasında değişirken, tarımsal kireç materyalininki 2.7–2.9 g/cm³ arasında değişmektedir (NSA, 2021).

BOF ve EAO cüruflarının genel kimyasal bileşimleri Tablo 1'de görülmektedir. Çelik cüruflarının kimyasal bileşimleri oldukça

Table 1.
BOF ve EAO Cüruflarının Kimyasal Bileşimleri (Yi ve ark., 2012).

CÜRUF TÜRÜ (%)	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅
BOF Cürufu	45–60	10–15	1–5	3–13	2–6	3–9	1–4
EAO Cürufu	30–50	11–20	10–18	8–13	5–10	5–6	2–5

Note: BOF = basic oxygen furnaceslugs; EAF = electric arc furnace.

değişkenlik göstermekte ve genel olarak kimyasal bileşimlerini CaO, SiO₂, Al₂O₃, MgO, MnO, Fe₂O₃ ve P₂O₅ oluşturmaktadır (Yi ve ark., 2012). Çelik cürufları, üretilen çeliğin türüne ve kullanılan çelik üretim işlemine bağlı olarak çeşitli konsantrasyonlarda iz elementleri de içerebilmektedirler (Kourounis ve ark., 2007; Motz & Geiseler, 2001).

Sonuç ve Öneriler

2021 yılı itibariyle Türkiye'de mevcut 37 adet tesisin 26 tanesi EAO, 8 tanesi İO ve 3 tanesi BOF ile ham çelik üretimi yapmakta ve bu üretim sonucunda yan ürün olarak cüruflar oluşmaktadır. Çelik cürufu miktarı, ton ham çelik başına 150–200 kg arasında değişmekte ve Türkiye'de bu cüruflar sahalarda düzenli/düzensiz depolanmaktadır. Temel olarak CaO, SiO₂, Al₂O₃, MgO, MnO, Fe₂O₃ ve P₂O₅ içeren çelik cürufları birçok ülkede asidik toprakların ıslahında kireçleme materyali olarak ve bitki besin elementi olarak kullanılmaktadır.

Çelik tesislerinde yan ürün olarak ortaya çıkan çelik cüruflarının toprak düzenleyici ve/veya mineral gübre olarak kullanımı tarımsal, çevresel ve ekonomik açıdan büyük önem taşımaktadır. Çelik cüruflarının toprak düzenleyici ve/veya mineral gübre olarak kullanımı ile ilgili yapılan çalışmalar CÜRUFUN (Tozsın & Oztas, 2022);

- Asit topraklarda agronomik açıdan daha uygun kimyasal ve biyolojik ortam koşulları oluşturarak besin elementi alımını teşvik ettiği, bitki gelişimini ve verimi artırdığını,
- Önemli bir maliyet avantajı sağladığından tarım kirecine alternatif olarak, asit toprakların ıslahında etkin ve ekonomik bir toprak düzenleyici materyal olarak kullanılabilceğini,
- Farklı bitki besin elementlerine (P, S, Mn, Fe, Mo ve Si) sahip olması nedeniyle, doğrudan gübre olarak kullanılabilceği gibi, bitkisel ve hayvansal atıklarla karıştırılıp kompost yapılarak da daha etkin bir şekilde uygulanabileceğini,
- Fazla miktarda CaO, SiO₂ ve MgO gibi gübre bileşenlerine sahip olması nedeniyle Japonya, Çin, Hindistan, ABD ve Almanya başta olmak üzere birçok ülkede doğrudan silikat gübresi olarak kullanılabildiğini,
- Yüksek miktarlarda Si içermesi nedeniyle ve Si'nin temel bitki besin elementi olmamakla birlikte birçok kültür bitkisinde fotosentezi teşvik etmesi, kök aktivitesini artırması, alt yaprakların sararmasını engellemesi, gövde dayanıklılığını artırması ve yanık oluşumuna engel olması gibi verimde kalite ve kantite üzerine ciddi bir etki yaratması nedeniyle silikat gübresi olarak yaygın bir kullanım potansiyeline sahip olduğunu,
- Mineral gübre olarak uygulandığında verimde ciddi artış sağlayabildiğini,
- Asit topraklarda P yetersizliğini önemli ölçüde azalttığını,
- Fe kaynaklı kloroz etkisini minimize ettiğini,
- Bitki organlarında depolanan Al ve Mn miktarını önemli ölçüde azaltarak zehirlenmelere engel olduğunu,
- Yüksek Fe içeriğine rağmen cüruf ile muamele edilmiş bitki dokularında yüksek miktarlarda Fe depolanmadığını,

- Hali hazırda dünya piyasalarında çeşitli formasyonlarda (cüruf silikatlı gübre, kireçli gübre, cüruf fosfatlı gübre ve Fe-katkılı özel gübre) üretildiğini,
- Belirli miktarlarda ağır metal içermesine karşın, toprağa yüklenen veya topraktan bitkiler tarafından alınan Cu, Cd, Co, Ni, Pb ve Zn miktarının kabul edilebilir sınır değerlerin altında olduğunu, ortaya koymaktadır.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Yazar Katkıları: Konsept – G.T., T.Ö.; Tasarım – G.T., T.Ö.; Denetim – G.T., T.Ö.; Kaynaklar – G.T., T.Ö.; Veri Toplama ve/veya İşleme – G.T., T.Ö.; Analiz ve/veya Yorum – G.T., T.Ö.; Literatür Taraması – G.T., T.Ö.; Yazma – G.T., T.Ö.; Eleştirel İnceleme – G.T., T.Ö.

Çıkar Çatışması: Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Finansal Destek: Yazarlar, bu makaleye eşit oranda katkı sağlamışlardır.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Author Contributions: Concept – G.T., T.Ö.; Design – G.T., T.Ö.; Supervision – G.T., T.Ö.; Resources – G.T., T.Ö.; Materials – G.T., T.Ö.; Data Collection and/or Processing – G.T., T.Ö.; Analysis and/or Interpretation – G.T., T.Ö.; Literature Search – G.T., T.Ö.; Writing Manuscript – G.T., T.Ö.; Critical Review – G.T., T.Ö.

Declaration of Interests: The authors declare that they have no competing interest.

Funding: The authors declare that this study had received no financial support.

Kaynaklar

- Anderson, N. P., Hart, J. M., Sullivan, D. M., Christensen, N. W., Horneck, D. A., & Pirelli, G. J. (2013). *Applying lime to raise soil pH for crop production (Western Oregon)*. Oregon State University, Extension Service, EM9057.
- Anunziata Branca, T. A., Pistocchi, C., Colla, V., Ragolini, G., Amato, A., Tozzini, C., Mudersbach, D., Morillon, A., Rex, M., & Romaniello, L. (2014). Investigation of (BOF) convertor slag use for agriculture in Europe. *Metallurgical Research and Technology*, 11(3), 155–167. [\[CrossRef\]](#)
- Beck, M., & Daniels, W. L. (2008). *Tube City IMS, LLC steel slag characterization study*. Department of Crop and Soil Environmental Sciences, Virginia Tech University.
- Chand, S., Paul, B., & Kumar, M. (2015). An overview of use of Linz-Donawitz (LD) steel slag in agriculture. *Current World Environment*, 10(3), 975–984. [\[CrossRef\]](#)
- Curtin, D., & Trolove, S. (2013). Predicting pH buffering capacity of New Zealand soils from organic matter content and mineral characteristics. *Soil Research*, 51(6), 494–502. [\[CrossRef\]](#)
- Das, B., Prakash, S., Reddy, P. S. R., & Misra, V. N. (2007). An overview of utilization of slag and sludge from steel industries. *Resources, Conservation and Recycling*, 50(1), 40–57. [\[CrossRef\]](#)
- Das, S., Gwon, H. S., Khan, M. I., Jeong, S. T., & Kim, P. J. (2020). Steel slag amendment impacts on soil microbial communities and activities of rice (*Oryza sativa* L.). *Scientific Reports*, 10(1), 6746. [\[CrossRef\]](#)
- Das, S., Kim, G. W., Hwang, H. Y., Verma, P. P., & Kim, P. J. (2019). Cropping with slag to address soil, environment, and food security. *Frontiers in Microbiology*, 10, 1320. [\[CrossRef\]](#)
- Goulding, K. W. T. (2016). Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. *Soil Use and Management*, 32(3), 390–399. [\[CrossRef\]](#)
- Horii, K., Tsutsumi, N., Kato, T., Kitano, Y., & Sugahara, K. (2015). *Overview of iron/steel slag application and development of new utilization technologies* [Technical Report] (s. 109). Nippon Steel and Sumitomo.
- Ito, K. (2015). *Steelmaking slag for fertilizer usage* [Technical Report no. 109] (pp. 130–136). Nippon Steel & Sumitomo Metal.

- Kourounis, S., Tsvivilis, S., Tsakiridis, P. E., Papadimitriou, G. D., & Tsioubki, Z. (2007). Properties and hydration of blended cements with steel-making slag. *Cement and Concrete Research*, 37(6), 815–822. [\[CrossRef\]](#)
- Mäkelä, M., Watkins, G., Pöykiö, R., Nurmesniemi, H., & Dahl, O. (2012). Utilization of steel, pulp and paper industry solid residues in forest soil amendment: Relevant physicochemical properties and heavy metal availability. *Journal of Hazardous Materials*, 207–208, 21–27. [\[CrossRef\]](#)
- Mamatha, D., Gowda, R. C., & Shivakumara, M. N. (2018). Effect of basic slag on yield, nutrient status and uptake by paddy in acid soils of Karnataka, India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(2), 2286–2292. [\[CrossRef\]](#)
- Mihalache, M., Ilie, L., Doru, I. M., Mihalache, D., & Ildiko, A. (2016). Research on heavy metals translocation from soil amended with LF slag in wheat grains. 16th International Multidisciplinary Scientific Geoconference (SGEM 2016), Water Resources, Forest, Marine and Ocean Ecosystems Conference Proceedings (Volume II, pp. 281–286), June 30–July 06. Albena, Bulgaria.
- Motz, H., & Geiseler, J. (2001). Products of steel slags an opportunity to save natural resources. *Waste Management*, 21(3), 285–293. [\[CrossRef\]](#)
- Munn, D. A. (2005). Steel industry slags compared with calcium carbonate in neutralizing acid mine soil. *Ohio Journal of Sciences*, 105(4), 79–87.
- Neina, D. (2019). The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation. *Applied and Environmental Soil Science*, 2019, 1–9. [\[CrossRef\]](#)
- NLA (National Lime Association). (1990). *Lime: Handling, application and storage* (p. 22201).
- NSA (National Slag Association). (2021). *A guide for the use of steel slag in agriculture and for reclamation of acidic lands* (pp. 1–9).
- Pinto, M., Rodriguez, M., Besga, G., Balcazar, N., & Lopez, F. A. (1995). Effects of Linz-Donawitz (LD) slag as soil properties and pasture production in the Basque Country (Northern Spain). *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 38(1), 143–155. [\[CrossRef\]](#)
- Proctor, D. M., Fehling, K. A., Shay, E. C., Wittenborn, J. L., Green, J. J., Avent, C., Bigham, R. D., Connolly, M., Lee, B., Shepker, T. O., & Zak, M. A. (2000). Physical and chemical characteristics of blast furnace, basic oxygen furnace and electric arc furnace steel industry slags. *Environmental Science and Technology*, 34(8), 1576–1582. [\[CrossRef\]](#)
- Reuter, M., Xiao, Y., & Boin, U. (2004). Recycling and environmental issues of metallurgical slags and salt fluxes. VII. International Conference on Molten Slags, Fluxes and Salts, The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg, South Africa. (pp. 349–356).
- STB (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı). (2020). *Demir çelik sektör raporu. Sektörel Raporlar* (s.: 1–35). Sanayi Genel Müdürlüğü.
- TÇÜD (Türkiye Çelik Üreticileri Derneği). (2021). *Çelik haritası*. <https://celik.org.tr/harita/>.
- Tozsın, G., & Oztas, T. (2022). Use of steel slag as a soil amendment and mineral fertilizer in agriculture: A mini review. *Waste Management and Research*, 1–28.
- USDA (United States Department of Agriculture) (1999). *Liming to improve soil quality in acid soils. Soil quality-agronomy technical note* (vol. 8).
- Wang, W., Lai, D. Y. F., Abid, A. A., Neogi, S., Xu, X., & Wang, C. (2018a). Effects of steel slag and biochar incorporation on active soil organic carbon pools in a subtropical paddy field. *Agronomy*, 8(8), 1–17. [\[CrossRef\]](#)
- Wang, W., Sardans, J., Lai, D. Y. F., Wang, C., Zeng, C., Tong, C., Liang, Y., & Peñuelas, J. (2015). Effects of steel slag application on greenhouse gas emissions and crop yield over multiple growing seasons in a subtropical paddy field in China. *Field Crops Research*, 171, 146–156. [\[CrossRef\]](#)
- Wang, W., Sardans, J., Wang, C., Zeng, C., Tong, C., Bartrons, M., & Peñuelas, J. (2018b). Steel slag amendment increases nutrient availability and rice yield in a subtropical paddy field in China. *Experimental Agriculture*, 54(6), 842–856. [\[CrossRef\]](#)
- Wang, X., & Cai, Q. (2006). Steel slag as an iron fertilizer for corn growth and soil improvement in a pot experiment. *Pedosphere*, 16(4), 519–524. [\[CrossRef\]](#)
- Wen, T., Yang, L., Dang, C., Miki, T., Bai, H., & Nagasaka, T. (2020). Effect of basic oxygen furnace slag on succession of the bacterial community and immobilization of various metal ions in acidic contaminated mine soil. *Journal of Hazardous Materials*, 388, 121784. [\[CrossRef\]](#)
- Yang, Y., Reijonen, I., Yu, H., Dharmarajan, R., Seshadri, B., & Bolan, N. S. (2018). Back to basic slags as a phosphorous source and liming material. In *Soil amendments for sustainability: Challenges and Perspectives* (s.: 237–250). CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Yayan, V. (2022). Türkiye rekor üretim ile 2021 yılında da Avrupa'nın en büyük çelik üreticisi oldu. *Türkiye Çelik Üreticileri Derneği, Çelik Dergisi*, 133, 1–48.
- Yi, H., Xu, G., Cheng, H., Wang, J., Wan, Y., & Chen, H. (2012). An overview of utilization of steel slag. *Procedia Environmental Sciences*, 16, 791–801. [\[CrossRef\]](#)
- Yonar, F. (2017). *Elektrik ark ocağı çelikhane cürufunun karayolu esnek üstyapı tabakalarında kullanımının ve karışım performansının araştırılması* [Doktora Tezi] (s. 264). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Üzüm Bağlarında ve Meyve Bahçelerinde Buz Çekirdeği Oluşumunu Tetikleyen Bakteriler ve Düşük Sıcaklık Zararı

Ice Nucleation Active Bacteria in Vineyards and Orchards and Low Temperature Damage

Muhammed KÜPE 

Atatürk Üniversitesi, Ziraat
Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü,
Erzurum, Türkiye



Geliş Tarihi/Received: 28.01.2022

Kabul Tarihi/Accepted: 25.11.2022

Yayınlanma Tarihi/Publication Date:

30.01.2023

Sorumlu Yazar/Corresponding Author:
Muhammed KÜPE
E-mail: muhammed.kupe@atauni.edu.tr

Cite this article as: Küpe, M. (2023). Ice nucleation active bacteria in vineyards and orchards and low temperature damage. *Research in Agricultural Sciences*, 54(1), 42-47.



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

ÖZ

Sıcaklık, bitkilerin yeryüzündeki doğal yayılışının sınırlarını belirleyen iklim faktörlerindedir. Sıcaklık 0 °C'nin altına düştüğünde, bitki bünyesindeki suyun donması ile bitkide fizyolojik olayların gerçekleşmesi mümkün olmaz. Hücre içi ve hücreler arasındaki küçük buz kristalleri donma esnasında sitoplazmaya karışır ve protoplazmik yapıyı bozarak ölüme neden olur. Tabiatla iç veya dış nükleatörler tarafından başlatılan ve heterojen olarak meydana gelen donma olayında etkili olan faktörlerden bir tanesinin de bakteriler olduğu düşünülmektedir. Buz kristali oluşumunu tetikleyen (INA bakterileri) özellikle *Pseudomonas syringae* türüne ait bu bakterilerin asma ve diğer birçok odunsu meyve türlerinin yaşam alanlarını önemli ölçüde kısıtladığı düşünülmektedir. Bu derlemede, bağ ve bahçelerde farklı dönemlerde görülen düşük sıcaklıkların meydana getirdikleri zararlar ile bakteriler arasında bir ilişki olup olmadığı araştırılmıştır. Bu doğrultuda bakterilerin türleri, yapıları, yaşam alanları, mevsimsel popülasyon büyüklükleri, etki mekanizmaları, buz kristali oluşumunu tetiklediği sıcaklıklar, soğuk zararı ve süper soğuma ile arasındaki ilişkiler mevcut çalışmalar ışığında incelenmiş ve açıklanmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Asma, bakteriler, buz nükleasyonu, don zararı

ABSTRACT

Temperature is one of the climatic factors that determine the limits of the natural distribution of plants on earth. When the temperature drops below 0°C, it is not possible for physiological events to occur in the plant as the water in the plant freezes. Small ice crystals inside and between cells mix into the cytoplasm during freezing and cause death by disrupting the protoplasmic structure. Bacteria are thought to be one of the factors affecting the freezing event, which is initiated by internal or external nucleators and occurs heterogeneously in nature. These bacteria, which trigger the formation of ice crystals (INA bacteria), especially those belonging to the *Pseudomonas syringae* species, are thought to significantly restrict the habitats of grapevines and many other woody fruit species. In this review, it was investigated whether there is a relationship between the damage caused by low temperatures during different periods in vineyards and orchards and bacteria. In this direction, the relationships between bacteria species, structures, habitats, seasonal population sizes, mechanisms of action, temperatures triggered by ice crystal formation, cold damage, and supercooling have been examined and tried to be explained in the light of current studies.

Keywords: Grapevine, bacteria, ice nucleation, frost damage

Giriş

Ekolojik faktörler, tabiatla kendiliğinden gelişip çoğalabilen yabancı bitkilerin yaşama alanlarını sınırlandırmanın yanı sıra, kültüre alınan bitkilerin de ekonomik anlamda yetiştiriciliğinin yapılabilmesi ile yakından ilişkilidir. Belirli bir bölgede bitkisel üretimin sürdürülebilirliğini belirleyen en önemli ekolojik faktörlerden biri sıcaklıktır. Özellikle donma noktası altındaki düşük sıcaklıklar, bitkilerin yeryüzünde yayılmasını sınırlandıran en önemli çevresel stres faktörlerinden biri olarak gösterilmektedir. Bitkilerin coğrafi dağılışı yanında, ürün verimini ve kalitesi de önemli ölçüde iklime bağlıdır (Ashworth, 1986; Jones ve ark., 2004; Küpe, 2019).

Farklı değerlendirme şekillerinin sağladığı avantaj ile ticari açıdan önemli türlerden biri haline gelen asmanın olumsuz çevre şartlarına karşı dayanıklı olması, geniş bir alana yayılmasını da beraberinde getirmiştir. İklim koşulları bakımından dünya üzerinde birçok farklı bölge için uygun bir tür olan asma, karasal iklimin etkili olduğu özellikle geçit bölgelerinde ilkbahar, sonbahar ve kış aylarında görülen düşük sıcaklıklardan olumsuz olarak etkilenmektedir (Fennell, 2004; Mills ve ark., 2006). Bu geçit bölgelerinde asma ve diğer ılıman iklim meyve türlerinden yüksek kalitede ürün elde edilebilmesine karşın, sıklıkla meydana gelen don olayları bitkilerin toprak üstü ve toprak altı organları üzerinde ciddi hasarlar meydana getirmektedir (Barranco ve ark., 2005; Kappel, 2010; Wolf, 2008). Bitkilerin maruz kaldıkları düşük sıcaklıklar şiddetine, süresine ve meydana geliş biçimine göre değişmekle birlikte verim ve kalite kayıplarının yanı sıra kültürel uygulamalarda da farklılıklara sebep olmaktadır. Asmalar ve yaprağını döken birçok odunsu meyve türleri üzerinde ciddi hasarlara neden olan bu düşük sıcaklıklar, aynı zamanda üreticiler için de önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Fennell, 2004; Küpe, 2019; Lean, 2011; Rodrigo, 2000; Warmund ve ark., 2008; Zabadal ve ark., 2007).

Düşük sıcaklıkların bitkiler üzerindeki olumsuz etkilerinden korunmak için birçok farklı yöntem olmakla beraber tam bir koruma mümkün olmamaktadır. Farklı ülkelerde yapılan birçok çalışmada bu olumsuz etkilerin nasıl ve hangi şartlarda meydana geldiği kısmen ortaya koyulmuş ve zararın azaltılması adına bazı öneriler sunulmuş olsa da henüz bu alandaki çalışmalar düşük sıcaklığın meydana geliş şekillerini ve bitkiler üzerindeki etki mekanizmalarını net bir şekilde izah etmekte yeterli olmamıştır (Fennell, 2004; Londo, 2018; Zhang ve ark., 2012).

Ekstrem sıcaklık koşullarında bitkiler, canlılıklarını devam ettirebilmek için fizyolojik ve biyokimyasal birtakım stratejiler geliştirerek adaptasyon sağlamak zorundadırlar (Nilsen & Orcutt, 1996). Bitkilerde soğuk stresine karşı adaptasyon mekanizmasını açıklayabilmek için başta hücre içi ve hücreler arası don oluşum mekanizması olmak üzere, don oluşumu öncesinde ve donma esnasında dokudaki nem ve kuru madde içeriğindeki değişimler, proteinler, lipitler, makro ve mikro besin elementlerindeki değişimler gibi birçok önemli faktörün incelenmesi gerekmektedir (Aslantaş ve ark., 2010; Burke, 1995).

Sıcaklık kritik değerlerin altına düştüğünde, bitki bünyesindeki suyun donması ile bitkide fizyolojik olayların gerçekleşmesi mümkün olmaz. Sıcaklığın 0 °C'nin altına düşmesi sonucu oluşan don stresinin olumsuz etkisi çevre sıcaklığının düşük olmasından ziyade, hücre suyunun donmasından kaynaklanır. Donma sıcaklığında buz oluşumu, çözülebilir kuru maddenin daha düşük konsantrasyonu ve buz oluşumunu sağlayan nükleatörlerin varlığından dolayı hücreler arası boşluklarda başlar (Pearce, 1988). Buradaki suyun donması osmotik bir etki yaparak hücre içindeki suyun (simplast) hücre arası boşluğa (apoplast) geçmesine ve donmasına yol açar. Bu durum hücrelerde su eksikliğine neden olur. Hücre içindeki su miktarı azalmış, hücre içi yoğunluğu artmış olduğundan hücre içi su hemen donmaz. Başlangıçta sadece hücreler arasındaki su donduğundan bitki fazla zarar görmez. Ancak, düşük sıcaklığın devam etmesiyle hücreler arası buzun kademeli olarak artışı, hücrelerden suyu dışarı çekmekte ve hücre içindeki suyun da donmasına sebep olmaktadır. Hücreler arası buz oluşumu neticesinde oluşan dehidrasyonun yanı sıra buz kristallerinin hacimsel artışı hücredeki biyolojik zarları parçalayarak zararlanmaya, hatta ölümlere neden olmaktadır (Sakai & Larcher, 1987).

Bazı bitkiler henüz tam olarak açıklanamayan mekanizmalarla buz kristallerinin oluşmasını engelleyerek dona dayanıklılık gösterirler (Ashworth ve ark., 1998; Levitt, 1980). Birçok odunsu bitkide görülen hücre içi ve hücreler arasındaki suyun donma noktasını yaklaşık olarak -40°C'ye kadar düşüren süper soğuma mekanizması ile bitkiler sıcaklık düşüşlerinden belirli derecelere kadar etkilenmemektedirler (Davies, 2014). Süper soğumanın derecesi birçok faktörün etkisiyle değişebilmektedir. Farklı doku ve organlardaki bitki öz suları farklı sıcaklıklarda donma ve erime özelliğine sahiptir. Bitkilerin maruz kaldıkları don zararı ve hücreler arası don oluşumu hücre içinde dehidrasyon olayı ile tolere edilmeye çalışılır (Lewitt, 1980). Aşırı soğumanın sınırları aşıldığında hücre dışında buz kristalleri oluşur. Hücre içinden dışarıya meydana gelen su kaybı tolere edilecek seviyeyi aşınca ölüm meydana gelir.

Dormant dönemde asma ve diğer yaprağını döken birçok ılıman iklim meyve türünün odunsu dokuları yapıları itibari ile göz ve tomurcukları ise süper soğuma özelliği göstererek don zararından kaçınmaktadır. Süper soğuma, homojen veya heterojen şekilde başlayan buz nükleasyonu ile gerçekleşen donma olayı ile son bulurken, bu esnada hücre zarı ile çekirdek zarı arasındaki sızıda meydana gelen kurumalara bağlı olarak ksilem iletim demetlerinde oluşan tıkanmalar da sürgün ölümlerine neden olmaktadır (Adrews ve ark., 1984; Vali, 1995; Wisniewski & Basett, 2003).

Bitkiler üzerinde farklı gelişme dönemlerinde görülen düşük sıcaklıkların kompleks yapıdaki etki mekanizmalarının bir çok faktör tarafından etkilendiği yapılan çoğu çalışmada ortaya koyulmuştur (Centinari ve ark., 2016; Fennell, 2004; Trought ve ark., 1999). Tabiatın iç veya dış nükleatörler tarafından başlatılan ve heterojen olarak meydana gelen donma olayında etkili olan faktörlerden bir tanesinin de bakteriler olduğu düşünülmektedir (Wilson & Heneghan, 2003).

Asmalarda ve Bazı Odunsu Meyve Türlerinde Buz Kristali Oluşumunu Tetikleyen (INA) Bakteriler

Bitki kısımları içerisindeki buz oluşumlarını tetikleyerek bitkilerin yaşam alanlarını önemli ölçüde kısıtladığı düşünülen bu bakteri türleri arasında *Erwinia herbicola*, *Erwinia ananas*, *Erwinia uredovora* ve *Xanthomonas* gibi farklı türler olmasına karşın, doğada en yaygın olanı *Pseudomonas syringia*'dır (Morris ve ark., 2004; Pouleur ve ark., 1992; Wisniewski ve ark., 2008). Bitkilerde buz kristalleşmesini başlatan bu bakterilere "Buz Kristali Oluşturan Bakteriler" (INA) adı verilmektedir. Çoğunlukla yaprak yüzeylerinde epifitik olarak bulunan bu bakteriler çeşitli bitki türlerinde don zararına neden olabilmektedir. Özellikle *Pseudomonas syringae* ve *Erwinia herbicola* bakteri türlerinin -1°C'ye kadar olan sıcaklıklarda buz oluşumuna başlatan en etkin katalizörler oldukları bildirilmiştir (Lindow, 1983). *Pseudomonas syringae*'nin birçok izolatinin -4°C veya daha yüksek sıcaklıklarda, bazılarının da -4°C veya -10°C üzerindeki sıcaklıklarda buz kristalleşmesine neden oldukları bulunmuştur. -5°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda yaprak yüzeyleri üzerinde oluşan buz kristallerinden en az %95'nin bakteriyel orjinli olduğu ifade edilmektedir (Atkinson & Baker, 1987; Lindow, 1983; Lindow ve ark., 1982).

Bitkilerin yaprak yüzeylerinde buz çekirdeği oluşumunu tetikleyen bakterilerin varlığını belirlemek üzere yapılan bir çalışmada incelenen 95 bitki türünün 74'ünde bu bakterilere rastlandığı, incelenen bitki gruplarından sadece kozalaklı türlerde bu bakterilerin görülme olasılığının çok düşük olduğu, izole edilen bakteri türlerinin tamamına yakınının *Pseudomonas syringia* ya da *Erwinia*

herbicola türüne benzediklerini ve bu bakterilerinin sayısının, bitki yüzeylerinin önemli bir atmosferik buz çekirdeği kaynağı oluşturabileceğini düşündürecek kadar büyük olduğunu bildirmişlerdir (Lindow ve ark., 1978).

Çubuk şeklinde, kutupsal kamçılı olan *Pseudomonas syringia* türüne ait bakteriler, floresan pigmentler üretebilirler ve gram negatif aerob olarak kolaylıkla tespit edilebilirler. Sıfırın altındaki sıcaklıklarda bitkilerin süper soğumasına engel olarak bitki doku ve organlarının zarar görmesine neden olduğu düşünülen bu bakterilerin aktiviteleri -2°C ile -8°C arasında maksimum düzeye çıkmaktadır (Atkinson & Baker, 1987).

Bu bakterilerin popülasyon büyüklüğünün mevsimsel olarak dalgalanma gösterdiği, serin ve yağışlı ilkbaharda bitki tomurcuk ve çiçeklerinde de yıl boyunca görülen en yüksek popülasyon seviyesine ulaştığı, ardından yaz aylarında bir düşüşe geçtiği ve sonbahar sonunda kademeli bir artış sergilediği bildirilmiştir (Lindow, 1983)

Pseudomonas syringia bakterisi türünün bitki epidermis yüzeyinde ve apoplastta görüldüğü fakat hücre içinde bulunmadığına dair hakim bir görüş vardır. Stephanie (2011),in yapmış olduğu bir çalışmada buz üreten nükleatör oldukları ileri sürülen *Pseudomonas syringia* türüne ait bakterilerin mart ve mayıs aylarında yağmur sularından ve havadan izole edildiğini, bakteri popülasyonunun yağmur sularında havaya göre daha yoğun olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca maksimum buz oluşturma aktivitelerinin $-2,7^{\circ}\text{C}$ olarak belirlendiği çalışmada, yağmurların meydana gelmesinde bu bakterilerinin önemli rol üstlenebileceği ifade edilmiştir.

Pseudomonas syringia bakterilerinin çoğunlukla ilkbahar gelişme döneminin başında oluşan genç yapraklarda ve akabinde çiçekler üzerinde kolonileştiği ifade edilmesine karşın, yazın sıcak ve kuru havalarda ve kış aylarında *Prunus armenica* türünde zararlanmaya yol açtığı ifade edilmiştir (Cambours ve ark., 2005). Bazı çalışmalar buz kristali oluşturan bakterilerin bitki muhitine yağmurla taşındığını bildirmesine karşın, kış dinlenme döneminde, bitki dokularındaki çatlaklar içerisinde, bitki artıklarında ve tohumlarda konukçu olarak yaşayabildikleri de bir takım araştırmacılar tarafından ileri sürülmüştür (Cambours ve ark., 2004; Hoose & Mohler, 2012; Murray ve ark., 2012; Nejad ve ark., 2005; Smith, 2019). Özellikle ilkbahar döneminde daha aktif olduğu ifade edilen bu bakterilerin toprak ve tohumla inokule olduktan sonra yaprak yüzeyinde epifitik olarak yaşadığı, yaprak stomalarından bitki içerisine girdiği, hücreler arası bölgede geliştiği düşünülmeye karşın, bu bakterilerinin yağışlarla ilkbahar ayında mi taşındığı yoksa kışı bitkilerin doku ve organları içerisinde mi geçirdiği hususunda görüş ayrılıkları vardır (Cambours ve ark., 2004; Hoose & Mohler, 2012; Lindow ve ark., 1978, 1982; Murray ve ark., 2012; Nejad ve ark., 2005).

Banuelos ve ark. (2008), yaprak yüzeyinde yaşayan bazı bakterilerin donun etkisi ile oluşan zararını artırdığı, -3°C ile -5°C 'lik sıcaklıklara maruz bırakılan yapraklarda *Pseudomonas syringae* ve *Erwinia herbicola* gibi doğal olarak yaprak yüzeyinde yaşayan belli bakterilerin yüzeyde buz oluşumunu hızlandırdığını bildirmiştir. Bu bakterilerin buz oluşturmak için çekirdek görevi gördüğünü, dona duyarlı yapraklara bu bakteri kültürleri inokule edildiğinde bakterisiz yapraklara göre daha yüksek sıcaklıklarda donduğunu ifade etmiştir. Araştırmacı yaptığı çalışmada yüzeydeki buzun hızla yaprağın içerisindeki boşluklara yayılarak hücrelerde su kaybına neden olduğunu tespit etmiştir.

Nejad ve ark. (2005), buz kristali oluşturan bakteriler üzerinde yaptıkları bir çalışmada, bakteri gelişiminin bakteri irkına göre

değişmekle beraber beslenme ile doğrudan alakalı olduğu belirlenmiştir. Çalışmada karbon kısıtlamasının *P. fluorescens* türlerinde nükleasyon aktivitesini düşürdüğü, aynı şekilde nitrojen sınırlanmasının da *Erwinia herbicola* spp türüne ait bakterilerde nükleasyonu azalttığı, potasyum sınırlandırması ile de *P. syringae* türlerinde az miktarda nükleasyon aktivitesini sınırlandırdığı ortaya koyulmuştur.

Fregaria vesca türüne ait bitki çiçeklerindeki don zararının *Pseudomonas syringae* bakterileri ile ilişkili olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada, ıslak çilek çiçeklerinin yüzeyindeki bakteri yoğunluğunun, yüzeyleri kuru olan çiçeklere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada bakteriler ile bulaşık çiçeklerin %75'inden daha fazlasının $-2,5^{\circ}\text{C}$ 'de dondan zarar gördükleri ve bulaşık çiçeklerinin tamamının -3°C 'de öldükleri, bakterileri ile bulaşık olmayan çiçeklerin %21'inin $-3,5^{\circ}\text{C}$ 'de hayatta kalmayı başardıkları tespit edilmiştir (Warmund & English, 1998).

Pseudomonas syringae türüne ait bakterilerin bitki tomurcuklarının ıslak yüzeylerindeki konsantrasyonlarının belirlenmeye çalışıldığı benzer bir çalışmada, tomurcukların don hassasiyetlerinin sadece içerisinde buldukları fenolojik dönemlerle değil, aynı zamanda tomurcuk yüzeyinin ıslaklığı tarafından da arttığı belirlenmiştir. Buna karşın hassasiyetin artışında bu bakterilerinin etkilerinin net olmadığını bildirmiştir. Araştırmacı bakterilerin etkinliğinin bakteri türü ile yakından ilişkili olduğunu ifade etmiştir (Itier ve ark., 1991).

Kayısı (*Prunus armenica*) çiçeklerinde yapılan bir çalışmada *Pseudomonas syringae*'nin etkileri araştırılmış, bakterileri inokule edilen çiçek organlarından petallerin, stamentlerin ve pistillerin süper soğuma noktalarının sırasıyla $2,1^{\circ}\text{C}$, $1,6^{\circ}\text{C}$ ve $1,4^{\circ}\text{C}$ arttığı görülmüştür. Ayrıca bu bakterilerinin, membranların geçirgenliğini artırarak floral organlardaki membranların elektrolit sızıntısını nispeten artırdığı tespit edilmiştir. -3°C 'deki soğuk stresi altında bu bakteriler ile inokule olan floral organlardaki polen tekalarının patlayarak polenlerin dışarı çıktığı, polen hücrelerindeki organellerin zarar gördüğü ve diğer çiçek organlarının parçalanmasına neden olduğu ortaya koyulmuştur. Çalışmada bakteriler ile bulaşık ovullerde plazmoliz oluşumu yanı sıra, çekirdek hücrelerde boşluklar meydana geldiğini, bakterilerin ovuldeki yumurta hücrelerinin zar kılıfının şişmesine ve akabinde de patlamasına neden olduğu bildirilmiştir. Sonuç olarak araştırmacılar, bu bakterilerin kayısı floral organlarının yapısını bozduğunu ve soğuğa toleransını azalttığını saptamıştır (Yang ve ark., 2007).

Kaliforniya'da armut, badem, portakal ve avakado gibi bazı meyve türleri ile bazı sebze türleri üzerinde *Pseudomonas syringae* bakterisi türlerinin popülasyon yoğunluklarının mevsimsel değişimini belirlemek üzere bir çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmada portakal ve avakadonun genç yaprak dokularındaki popülasyon yoğunluğunun değişkenlik gösterdiğini ve bademin genç yaprak dokularında bakteri popülasyonunun en fazla olduğu ortaya koyulmuştur. Yapılan çalışmada yaprağını döken türlerde tomurcuk patlamasından sonraki ilk 6 haftalık periyotta bakteri popülasyonunun yaklaşık 1000 kat arttığı görülmüştür. Portakal ve avakado yapraklarında yaz ayları boyunca düşen popülasyon yoğunluğunun, ekim ayından şubat ayına kadar tekrar arttığı belirlenmiştir (Lindow, 1982).

Çilek, kiraz, şeftali, kayısı, erik ve armut gibi farklı türlerde soğuk zararı ile *P. syringae* bakterileri arasında ilişki olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılan birçok çalışmada bitkilerin farklı dokularında meydana gelen zararlanmaların *Pseudomonas*

syringae bakteri sayısı ile doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür. Ayrıca fasulye, mısır ve domates gibi hassas tek yıllık bitkilerin buz nükleasyon bakterilerinden arı oldukları durumlarda -5°C ile -7°C 'ye kadar dondan korunabildikleri ortaya koyulmuştur. Çalışmaların birçoğunda bitkinin soğuğa olan direncinin artması ile bakteri sayısı arasında ters orantılı bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir (Gross ve ark., 1984; Lindow, 1982; Lindow, 1983).

Lindow (1983), yaptığı bir çalışmada buz çekirdeği oluşturan bakterilerin bitkilerde sebep olduğu don hasarını azaltabilmek adına kimyasal olarak seyreltilmiş *P. syringae*, *P. fluorescens* ve *E. herbicola* türüne ait bakterileri bitki yüzeylerine inokule etmiştir. Çalışmanın sonucunda don hasarının azaltılması yönünde olumlu sonuçların aldığı bildirilmiştir.

Bitki hücrelerine zarar veren ve süper soğumayı engellediği bilinen bu bakteriler asmalarda ilkbahar geç donlarına neden olan faktörler arasında gösterilmektedir. Birçok literatür buz kristali oluşturan bakterilerin ilkbaharda genç yaprak ve çiçeklerde zarara yol açtığını belirtmiş olmasına rağmen bu bakteriler hakkında bir çok husus netlik kazanmamıştır. *Pseudomonas syringae* bakteri türlerinin, ilkbaharda özellikle asma tomurcuklarında görülebileceği görüşü hakim olmasına karşın, Bell ve ark. (1995), üzüm çeşitlerinde ksilemde yaşayan bakterileri incelemiştir. Popülasyon büyüklüğünün ekstraksiyon metoduna göre farklılık gösterdiğini ifade eden Bell ve ark. (1995), çoğu endofitik bakterilerin iletim dokularının duvarlarına tutunabileceğini, burada da gelişimlerinin kolay olmadığını ve hücre içine girmelerinin mümkün gözükmediğini bildirmiştir.

Pinot noir üzüm çeşidinde yaprakların donma noktası üzerine *Pseudomonas syringae* bakterilerinin etkilerinin araştırıldığı çalışmada, yüzeyi steril edilmiş yaprakların yüzeylerinde buz çekirdeği oluşumunun $-7,5^{\circ}\text{C}$ 'de başlarken, bakteri ile inokule olmuş yaprakların yüzeyinde buz çekirdeği oluşumunun $-3,1^{\circ}\text{C}$ 'de başladığı tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada yaprak yüzeyine inokule edilen bakterilerin -3°C ile -4°C 'lerde en güçlü etkiye sahip olduğu ifade edilmiştir (Gardea, 1987).

Himelrick ve ark. (1991), asmalarda düşük sıcaklıklarda etkili olduğu bilinen *Pseudomonas syringae* türüne ait bakterilerin zararlı etkilerinin azaltılması üzerinde bir çalışma yapmıştır. Çalışmada -2°C 'de bitkiye uygulanan Frostgard (FG) uygulamasının bitki hücrelerindeki bakteri popülasyonunun etki mekanizmasını baskıladığı, böylelikle bitkinin düşük sıcaklığa maruz kaldığı zaman aralığında yapılacak Frostgard uygulaması ile düşük sıcaklık zararının şiddetinin azaltılmasının mümkün olabileceği sonucuna varılmıştır.

Bitkilerin düşük sıcaklıklara karşı korunmasında birçok farklı mekanizmanın rol aldığı bilinmektedir. Soğuk iklimasyonu süresince biriken özel proteinlerden bazıları antifriz protein özelliği göstermektedir (Pearce, 2001). Bu antifriz proteinlerin, buz kristalinin şekli ve oluşumunu değiştirerek buz çekirdeklenme aktivitesini artıran buz nükleatörleri ile de etkileşime girebilme yeteneğine sahip olduğu bilinmektedir. Bu özel proteinler bitkilerin düşük sıcaklıklara karşı toleransında en önemli nokta olan hücreler arasındaki suyun donmasını çok küçük konsantrasyonlarda dahi engelleyebilme özelliğine sahiptirler. Böylece don zararından hücrelerin korunmasına katkı sağlarlar. Suyu çekmeyen ve makro moleküllerin bir araya gelmesini önleyici bir özelliğe sahip olduğu belirlenen bu proteinlerin arpa, buğday, çavdar ve kışlık kanolada soğuk iklimasyonu süresince biriktikleri görülmüştür. (Scabba ve ark., 1998; Smallwood & Bowles, 2002).

Sonuç

Pseudomonas syringae bakterilerinin özellikle yaprağını döken odunsu meyve türleri üzerindeki don zararındaki rolü üzerine yapılan çalışmalarda sonuçların çelişkili olduğu görülmüştür. Bu bakteri türünün özellikle asmalar için zayıf bir patojen olduğu bildirilmiş, ancak bu bakterilerin özellikle genç sürgünlerde süper soğumayı sınırlandırarak sebep oldukları soğuk zararı hakkında varsayımların olduğu ve bu durumun araştırılması gerektiği birçok çalışmada vurgulanmıştır. *Pseudomonas syringae* türüne ait bakterilerin paraziter (bakteriyel kanser) etkileri çoğu çalışmada ortaya koyulmuş olmasına rağmen (Bradbury, 1986; Kennelly ve ark., 2007; Park & Nakai, 2003; Pinheiro ve ark., 2019), bu bakterilerin bağ ve bahçelerdeki yaşam döngüsü, ortaya çıkışı, don zararı ile ilişkisi, bitkiler üzerindeki fizyolojik etki mekanizmaları, düşük sıcaklıklar ve süper soğuma mekanizması arasındaki ilişkileri açıklamada mevcut literatürler yeterli olmamıştır. Nitekim mevcut literatürlerde bakterilerin yağışlarla ilkbahar ayında mı taşındığı, yoksa kışı bitkilerin doku ve organları içerisinde mi geçirdiği hususunda görüş ayrılıkları vardır. Ilkbaharda asma dahil birçok ılıman iklim meyve türünde rastlandığı ifade edilen bu bakterilerin şayet yağışlarla taşınmayıp da konukçu olarak yaşadığı varsayıldığında, bitki üzerindeki zarar mekanizmasının hücreler arasındaki suyu daha yüksek sıcaklıklarda dondurarak mı, yoksa direk bakteriyel hastalık oluşturarak bitkiyi hassaslaştırdığı konuları açıklık kazanmamıştır. Ayrıca birçok literatürde bu bakterilerin ilkbaharda genç yaprak ve çiçeklerde zararlanmalara yol açtığı belirlenmesine karşın, bazı çalışmalarda bu bakterilerin bitkilerin apoplast sıvısında yer aldığı ifade edilmiştir. Bu bakterilerin kışın dormant tomurcuklarda konukçu olarak yaşadığı kabul edildiğinde zararlanmanın esasında kış ayında göz veya tomurcuklarda zaten meydana gelmiş olabileceği göz ardı edilmiştir. Mevcut çalışmalarda henüz netlik kazanmamış bu hususların ortaya konulması ile yaprağını döken ve süper soğuma özelliği gösteren tüm bitki türlerinde olduğu gibi asmalar üzerinde de bu bakteriler ile soğuk zararı arasındaki ilişki tespit edilmiş olacak ve bu bakterilerin muhtemele etkileri hakkında projeksiyonlar sunulması mümkün olacaktır. Bu ilişkinin netlik kazanması halinde, bitki muhitindeki bu bakterilerin elemine edilmesi ile süper soğumanın engellenmesinin ortadan kaldırılması mümkün hale gelebilecektir. Ayrıca bulutlarla taşınabileceği ifade edilen bu mikroorganizmaların buz çekirdekleri oluşturmaları, sonrada yağmur veya kar yağışlarıyla toprağa geri dönmeleri muhtemeldir. Küresel bazda düşünüldüğünde, bulutlar vasıtasıyla taşınabilen bu mikroorganizmaların tüm tarım alanları için zarar meydana getirme potansiyelinin olduğu anlaşılmaktadır. Son yıllarda artan dünya nüfusu ile birlikte küresel iklim değişikliğinin de olumsuz etkilerinin yoğun bir şekilde hissedildiği dünya tarımında bu durum daha da önem kazanmaktadır (Küpe, 2012). ABD'de buz çekirdeği oluşumunu tetikleyen bakterilerden kaynaklanan tarımsal kayıpların senede 1 milyar doları aştığı ileri sürülmektedir. Bu yönde yapılacak çalışmalarla, özellikle karasal iklimin hüküm sürdüğü geçit bölgelerinde çok ciddi olumsuz etkileri olan don riski kısmen veya tamamen ortadan kaldırılmış olacaktır. Böylelikle geçit bölgelerinde bağcılık ve meyvecilik daha düşük risk ile daha ekonomik olarak yapılabilecektir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazar, herhangi bir kişisel ve finansal çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Finansal Destek: Yazar, bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Declaration of Interests: The author declared that they have no competing interest.

Funding: The author declared that this study had received no financial support.

Kaynaklar

- Andrews, P. K., Sandidge, C. R., & Toyama, T. K. (1984). Deep supercooling of dormant and deacclimating vitis buds. *American Journal of Enology and Viticulture*, 35(3), 175–177.
- Ashworth, E. N. (1986). Freezing injury in horticultural crops—research opportunities. *HortScience*, 21(6), 1325–1328. [\[CrossRef\]](#)
- Aslantaş, R., Karakurt, H., & Karakurt, Y. (2010). Bitkilerin düşük sıcaklıklara dayanımında hüresel ve moleküler mekanizmalar. *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 41(2), 157–167.
- Barranco, D. N., Ruiz, N., & Gomez-del Campo, M. (2005). Frost tolerance of eight olive cultivars. *Horticultural Science*, 40, 558–560.
- Bell, C. R., Dickie, G. A., Harvey, W. L. G., & Chan, J. W. Y. F. (1995). Endophytic bacteria in grapevine. *Canadian Journal of Microbiology*, 41(1), 46–53. [\[CrossRef\]](#)
- Bradbury, J. F. (1986). *Guide to plant pathogenic bacteria*. CAB International: Farnham Royal, Slough.
- Burke, J. J. (1995). Enzym adaptation to tempeature. In N. Smirnov (Ed.). *Environment and plant metabolism: Flexibility and acclimation* (pp. 63–78). Oxford, UK: Bios Scientific Publishers.
- Centinari, M., Smith, M. S., & Londo, J. P. (2016). Assessment of freeze injury of grapevine green tissues in response to cultivars and a cryoprotectant product. *HortScience*, 51(7), 856–860. [\[CrossRef\]](#)
- Davies, P. L. (2014). Ice-binding proteins: A remarkable diversity of structures forstopping and starting ice growth. *Trends in Biochemical Sciences*, 39(11), 548–555. [\[CrossRef\]](#)
- Fennell, A. (2004). Freezing tolerance and injury in grapevines. *Journal of Crop Improvement*, 10(1–2), 201–235. [\[CrossRef\]](#)
- Gardea, A. A. (1987). *Freeze damage of Pinot noir (Vitis vinifera L.) as affected by bud development, INA-bacteria, and a bacterial inhibitor* [Master Thesis], Oregon State University, ABD.
- Gross, D. C., Proebsting, Jr., E. L., & Andrews, P. K. (1984). The effects of ice nucleation-active bacteria on temperatures of ice nucleation and freeze injury of Prunus flower buds at various stages of development. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 109(3), 375–380. [\[CrossRef\]](#)
- Himelrick, D. G. (1991). Growth and nutritional responses of nine grape cultivars to low soil pH. *HortScience*, 26(3), 269–271. [\[CrossRef\]](#)
- Hoose, C., & Möhler, O. (2012). Heterogeneous ice nucleation on atmospheric aerosols: A review of results from laboratory experiments. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(20), 9817–9854. [\[CrossRef\]](#)
- Itier, B., Flura, D., Brun, O., Luisetti, J., Gaignard, J. L., Choisy, C., & Lemoine, G. (1991). An analysis of sensitivity to spring frost in vine buds. *Agronomie*, 11(3), 169–174.
- Jones, G. V., White, M. A., & Cooper, O. R. (2004). Climate change and global wine quality. *Climatic Change*, 73(3), 319–343.
- Kappel, F. (2010). Sweet cherry cultivars vary in their susceptibility to spring frosts. *HortScience*, 45(1), 176–177. [\[CrossRef\]](#)
- Kennelly, M. M., Cazorla, F. M., de Vicente, A., Ramos, C., & Sundin, G. W. (2007). Pseudomonas syringae diseases of fruit trees: Progress toward understanding and control. *Plant Disease*, 91(1), 4–17. [\[CrossRef\]](#)
- Kupe, M. (2012). Küresel iklim değişikliğinin bağcılık üzerindeki etkileri. *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 43(2), 191–196.
- Kupe, M., & Kose, C. (2019). Determination of cold damage in field and laboratory conditions in dormant buds of Karaerik grape cultivar. *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 50(2), 115–121.
- Lindow, S. E. (1983). The role of bacterial ice nucleation in frost injury to plants. *Annual Review of Phytopathology*, 21(1), 363–384. [\[CrossRef\]](#)
- Lindow, S. E., Arny, D. C., & Upper, C. D. (1978). Distribution of ice nucleation-active bacteria on plants in nature. *Applied and Environmental Microbiology*, 36(6), 831–838. [\[CrossRef\]](#)
- Lindow, S. E., Arny, D. C., & Upper, C. D. (1982). Bacterial ice nucleation: A factor in frost injury to plants. *Plant Physiology*, 70(4), 1084–1089. [\[CrossRef\]](#)
- Londo, J. P., Kovaleski, A. P., & Lillis, J. A. (2018). Divergence in the transcriptional landscape between low temperature and freeze shock in cultivated grapevine (*Vitis vinifera*). *Horticulture Research*, 5(1), 10. [\[CrossRef\]](#)
- Mills, L. J., Ferguson, J. C., & Keller, M. (2006). Cold-hardiness evaluation of grapevine buds and cane tissues. *American Journal of Enology and Viticulture*, 57(2), 194–200. [\[CrossRef\]](#)
- Morris, C. E., Georgakopoulos, D. G., & Sands, D. C. (2004). Ice nucleation active bacteria and their potential role in precipitation. *Journal de Physique IV*, 121(5), 87–103. [\[CrossRef\]](#)
- Murray, B. J., O’Sullivan, D., Atkinson, J. D., & Webb, M. E. (2012). Ice nucleation by particles immersed in supercooled cloud droplets. *Chemical Society Reviews*, 41(19), 6519–6554. [\[CrossRef\]](#)
- Nejad, P. (2005). *Pathogenic and ice-nucleation active (INA) bacteria causing dieback of willows in short rotation forestry* [Doctoral Thesis]. Saint Louis University.
- Nilsen, E. T., & Orcutt, D. M. (1996). *Physiology of plants under stress*. Abiotic Factors.
- Park, S. C., & Nakai, T. (2003). Bacteriophage control of Pseudomonas plecoglossicida infection in ayu Plecoglossus altivelis. *Diseases of Aquatic Organisms*, 53(1), 33–39. [\[CrossRef\]](#)
- Pearce, R. S. (1988). Extracellular ice and cell shape in froststressed cereal leaves: A low temperature scanning electron microscopy study. *Planta*, 175(3), 13–324.
- Pearce, R. S. (2001). Plant freezing and damage. *Annals of Botany*, 87(4), 417–424. [\[CrossRef\]](#)
- Pinheiro, L. A. M., Pereira, C., Frazão, C., Balcão, V. M., & Almeida, A. (2019). Efficiency of phage $\phi 6$ for biocontrol of Pseudomonas syringae pv. syringae: An in vitro preliminary study. *Microorganisms*, 7(9), 286. [\[CrossRef\]](#)
- Pouleur, S., Richard, C., Martin, J. G., & Antoun, H. (1992). Ice nucleation activity in Fusarium acuminatum and Fusarium avenaceum. *Applied and Environmental Microbiology*, 58(9), 2960–2964. [\[CrossRef\]](#)
- Scebba, F., Sebastiani, L., & Vitagliano, C. (1998). Changes in activity of antioxidative enzymes in wheat (*Triticum aestivum*) seedlings under cold acclimation. *Physiologia Plantarum*, 104(4), 747–752. [\[CrossRef\]](#)
- Smallwood, M., & Bowles, D. J. (2002). Plants in a cold climate. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 357(1423), 831–847. [\[CrossRef\]](#)
- Smith, E. D. (2019). Cold hardiness and options for the freeze protection of southern highbush blueberry. *Agriculture*, 9(1), 9. [\[CrossRef\]](#)
- Trought, M. C., Howell, G. S., Cherry, N. J. (1999). Practical considerations for reducing frost damage in vineyards. Report to New Zealand wine-growers reducing frost damage in vineyards Miguel de Unamuno, The Tragic Sense of Life (pp. 18-19). Lincoln University, New Zealand
- Vali, G. (1995). Principles of ice nucleation. In R. E. Lee, G. J. Warren & L. V. Gusta (Eds.). *Biological ice nucleation and its applications* (p. 28). American Phytopathological Society.
- Warmund, M. R., & English, J. T. (1998). Ice nucleation, freezing injury, and colonization of Totem Strawberry flowers with ice-nucleation-active (INA) bacteria. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 123(2), 234–238. [\[CrossRef\]](#)
- Warmund, M. R., Guinan, P., & Fernandez, G. (2008). Temperatures and cold damage to small fruit crops across the Eastern United States associated with the April 2007 freeze. *HortScience*, 43(6), 1643–1647. [\[CrossRef\]](#)
- Wilson, P. W., Heneghan, A. F., & Haymet, A. D. J. (2003). Ice nucleation in nature: Supercooling point (SCP) measurements and the role of heterogeneous nucleation. *Cryobiology*, 46(1), 88–98. [\[CrossRef\]](#)
- Wisniewski, M., & Basett, C. (2003). An overview of cold hardiness in woody plants: Seeing the forest through the trees. *Horticultural Science*, 38(5), 952–954.
- Wisniewski, M., Michael Glenn, D. M., Gusta, L., & Fuller, M. P. (2008). Using infrared thermography to study freezing in plants. *HortScience*, 43(6), 1648–1651. [\[CrossRef\]](#)

- Wisniewski, M., Nassuth, A., Teulières, C., Marque, C., Rowland, J., Cao, P. B., & Brown, A. (2014). Genomics of cold hardiness in woody plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 33(2–3), 92–124. [\[CrossRef\]](#)
- Wolf, T. K. (2008). *Wine grape production guide for eastern North America*. Natural Resource, Agriculture and Engineering Service.
- Yang, J. M., Meng, Q. R., Liang, Y. Q., Wang, W. F., Sun, F. Z., Zhao, T. C., Peng, W. X., & Li, S. H. (2007). Effect of ice nucleation-active bacteria on the physiology and ultrastructure of apricot floral organs. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 82(4), 563–570. [\[CrossRef\]](#)
- Zabadal, T. J., Dami, I. E., Goffinet, M. C., Martinson, T. E., & Chien, M. L. (2007). *Winter injury to grapevines and methods of protection* (pp. 36–37). Michigan State University Publications on Grape Production.
- Zhang, J., Wu, X., Niu, R., Liu, Y., Liu, N., Xu, W., & Wang, Y. (2012). Cold resistance evaluation in 25 wild grape species. *Vitis*, 51(4), 153–160.