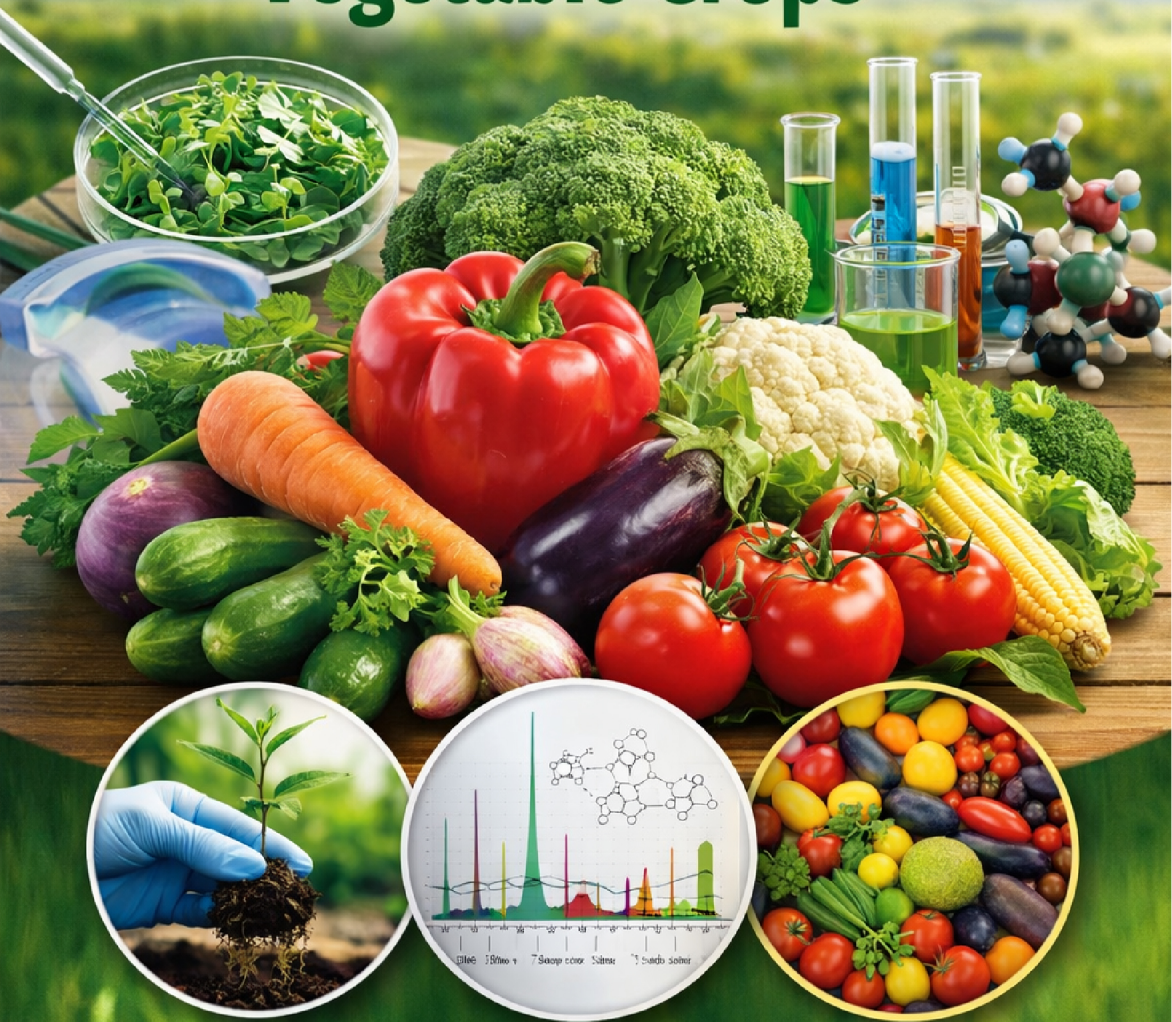


Yield, Biochemical Content, and Morphological Diversity in Vegetable Crops



Edited by

AHMET TURHAN



BİDGE Yayınları

**Yield, Biochemical Content, and Morphological Diversity in
Vegetable Crops**

Editor: AHMET TURHAN

ISBN: 978-625-8673-08-1

1st Edition

Page Layout By: G zde Y CEL

Publication Date: 2025-12-25

BİDGE Yayınları

All rights reserved. No part of this work may be reproduced in any form or by any means, except for brief quotations for promotional purposes with proper source attribution, without the written permission of the publisher and the editor.

Certificate No: 71374

All rights reserved   BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. şti.

G zeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9  ankaya /
Ankara



CONTENTS

THE EFFECT OF SEEDLING HEIGHT ON YIELD AND QUALITY OF SOME OKRA VARIETIES IN THE CENTRAL BLACK SEA COASTAL ZONE	1
---	---

ADNAN UĞUR, SUDE CAVLI, ÜMRAN GÜL

5403 SAYILI TOPRAK KORUMA VE ARAZİ KULLANIMI KANUNU'NA, 6537 SAYILI KANUN İLE YAPILAN DEĞİŞİKLİKLERİN GETİRDİĞİ KAZANIMLAR VE EN GÜNCEL GELİŞMELER	15
---	----

MELTEM AYAZ

MEYVE MUHAFAZASINDA UÇUCU YAĞLARIN KULLANIM POTANSİYELİ	32
--	----

SAADET KOÇ GÜLER

THE EFFECT OF DIFFERENT PLANT DENSITIES ON ORGANIC CUCUMBER CULTIVATION IN GREENHOUSES	52
--	----

ANDAÇ KUTAY SAKA, SEZGİN UZUN

SU STRESİNDE HİDROJEL KULLANIMI	73
---------------------------------------	----

SELMA KIPÇAK BİTİK

EFFECT OF GIBBERELLIC ACID APPLICATIONS ON YIELD AND SOME BIOCHEMICAL CONTENTS IN SAKIZ AND BAYRAMPAŞA ARTICHOKE CULTIVARS	87
--	----

ADNAN UĞUR, DÖNDÜ SEMA SEYHAN, EDANUR AKBULUT

MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF ANDROGENIC PURE LINES IN HATAY TYPE HOT PEPPERS	101
---	-----

*MESUT NAR, BURCU DEMİRKAYA, SEFANUR ÇELİK, HAKAN AKTAŞ,
HAKAN FİDAN, Ş.ŞEBNEM ELLİALTIOĞLU*

CEVİZ (JUGLANS REGIA L.) BİTKİSİNDE TUZLULUĞA KARŞI DİRENÇ MEKANİZMALARININ İNCELENMESİ ..	126
---	-----

CONTENTS

MESUT ADA, SALİH KAFKAS

CHAPTER 1

THE EFFECT OF SEEDLING HEIGHT ON YIELD AND QUALITY OF SOME OKRA VARIETIES IN THE CENTRAL BLACK SEA COASTAL ZONE¹

**ADNAN UĞUR²
SUDE CAVLI³
ÜMRAN GÜL⁴**

1- INTRODUCTION

Vegetables are important components of a healthy diet due to their carbohydrate, protein, mineral, and vitamin content. More than 50 different vegetables are cultivated in our country (Vural et al., 2000). Our annual vegetable production exceeds 30 million tons, and per capita vegetable consumption is around 258 kg. Okra is among the vegetables with lower production and consumption rates compared to other vegetables. Our country has an annual okra

¹ This book chapter is summarized from the final report of the project supported by TUBITAK under code 1919B012337714 within the scope of 2209/A.

² Prof. Dr., Faculty of Agriculture, Department of Horticulture, Ordu University, ORDU. Orcid: 0000-0001-6015-3146

³ Student of Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Ordu University, ORDU. Orcid: 0009-0000-6449-1484

⁴ Student of Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Ordu University, ORDU. Orcid: 0009-0003-9125-8559

production of around 30,000 tons. Balıkesir ranks first with 3,796 tons, followed by Osmaniye with 3,259 tons, Aydın with 3,124 tons, Amasya with 2,855 tons, and İzmir with 2,736 tons (TUIK, 2022). Records indicate that the gene center of okra and related species is Ethiopia, Egypt, India, Indonesia, and West Africa (Esiyok, 2012). Duzyaman (1998) states that okra cultivation is widespread in tropical, subtropical, and Mediterranean climate zones. Perennial species are found in West Africa. Yıldız et al. (2016) determined that Turkish okra genotypes show similarities with African and Indian samples in their study using SRAP markers. Vural et al. (2000) stated that there is a rich diversity in our country and that each of these varieties is superior to foreign okra varieties in terms of quality characteristics. Sultani okra, Bornova okra, Balıkesir okra, and Amasya okra (Flower) are among our important okra varieties. Okra is consumed fresh during the summer months and dried and canned outside of the season. Okra is important for joint health due to its mucilaginous structure and is also a good dietary vegetable in terms of its vitamin, protein, and raw fiber content.

Okra plant growth depends on genotypic characteristics but can vary according to ecology. The optimum growth temperature for okra is 25-30°C, and it is commercially grown in warm ecologies (Duzyaman, 2004). Plant height and branching characteristics are the most influential factors in productivity. Ecological conditions during the plant's early development period determine plant height. Different studies have reached different results regarding plant height in okra. While Erdogan (2017) states that plant height varies between 60.13-144.25 cm, Duzyaman (2005) states that plant height values in okra genotypes range from 166.4-309.4 cm. Thirupathi Reddy et al. (2012) reported plant height values of 79.9-172.0 cm, Yıldız et al. (2021) 50-258.3 cm, Karagul (2003) 50.4-258.6 cm, Binalfew and Alemu (2016) 64-258 cm, and Nwangburuka et al. (2012) 38.56-132.55 cm. Erdogan (2017) stated that high

temperatures observed during the vegetation period, along with ecological factors such as excessive rainfall, cultural practices, irrigation status, and nitrogen fertilizer applications, affect plant height. Okra has a thick and sturdy stem, and node length is a varietal characteristic that varies depending on the ecology. Plants in warm regions tend to have relatively shorter nodes, while node length increases in cool and rainy regions. A leaf and a flower or lateral shoot formation are observed from the nodes. The number of lateral shoots and stem length directly affect yield (Vural et al., 2000). Since okra production involves continuous harvesting, short-statured genotypes are preferred to facilitate harvesting. However, the number of nodes is also important for yield. Since one fruit is harvested from each node, plant height is an important criterion for total yield (Yıldız et al., 2021). The ecology of the cultivation site also significantly affects plant development. In the Central Black Sea coastal belt, due to the high number of cloudy days in spring, plants grown in a humid and cloudy ecology increase their leaf size to benefit more from the sun, and with rapid growth, the internodes lengthen. This situation causes a decrease in the number of nodes in okra plants due to rapid growth, which in turn leads to a decrease in yield. Here, practices that can increase side shoot formation by controlling rapid growth come to the fore. At this point, chemical seedling height control applications are seen as a practical option. Previous paclobutrazol (PP333) applications on different species have resulted in shorter plants (Ugur and Eser, 2000; Bozokalfa et al., 2003; Duman and Duzyaman, 2003; Ugur and Kavak, 2007, Copur and Sarı, 2012; Ucan and Ugur, 2021).

The study aimed to determine changes in certain plant, fruit, and yield characteristics in the cultivation of short seedlings obtained by applying paclobutrazol doses with growth-retarding effects to okra seeds before planting in the Central Black Sea coastal zone.

2- MATERIALS AND METHODS

Material

Seeds from commercial Sultani and Tombul okra varieties were used in the study.

Seed Applications and Seedling Cultivation

In the study, paclobutrazol, a chemical with a retarding effect, was applied to the seeds of the varieties prior to sowing. Solutions of paclobutrazol were prepared at doses of 0, 10, and 20 ppm. Fifty grams of seeds were placed in 500 cc solutions according to the doses and treated at room temperature for 24 hours. After application, the seeds were washed with pure water and dried on filter paper at room temperature until air-dry, then stored. Prior to the study, the materials used in seedling cultivation, the trays, and the growing medium were treated with a licensed commercial fungicide containing 25 g/l Fludioxonil + 10 g/l Metalaxyl-m active ingredients to eliminate potential root diseases. The study was set up in a randomized block design with 3 replicates, and each tray was taken as a replicate of the experiment. A 3:1 mixture of peat and perlite was prepared for seedling cultivation and moistened. After one day under plastic cover, the mixture was filled into 45-cell planting trays measuring 52*32 cm with a root volume of 75 ml. Seeds were sown 1.5 cm deep in the planting trays, one seed per cell. After planting, a commercial fungicide solution was applied as a post-planting treatment. Subsequently, plastic sheeting was placed over the trays. The environmental humidity was checked daily, watering was continued as needed, and the cover was kept in place until the seedlings emerged. After the seedlings emerged, the plastic cover was removed, and all cultural practices were meticulously carried out until the seedlings reached transplanting size (Vural et al., 2000).

Measurements Taken During the Seedling Stage

Before planting, seedling height, stem diameter, number of leaves, SPAD, and dry weight values were determined. Seedling height was measured in centimeters using a ruler from soil level to the growing tip. Stem diameter was measured in millimeters using a digital caliper 2 cm above soil level. Leaf chlorophyll content (SPAD) was determined by measuring a total of 5 randomly selected leaves in each application using a chlorophyll meter (Opti-Sciences Leaf Chlorophyll Meter, USA, CCM-200). For dry weight values, seedling samples were kept in an oven set at 70°C for 72 hours, and the initial and final weight values were calculated as a percentage by comparing the two values.

Field Trial and Measurements Taken on Plants

The seedlings used in the application were planted in three replicates, with 20 plants in each replicate, according to the Randomized Block Design. The row spacing was 70 cm and the plant spacing was 35 cm. After planting, the root zone was aerated and weeds were controlled by hoeing twice on the 12th and 25th days. Nitrogen-phosphorus-potassium (NPK) fertilization was applied at doses of 8-8-12 kg/da. 2 kg of nitrogen and 8 kg of phosphorus fertilizer per decare were applied to the soil before sowing. The remaining 6 kg of nitrogen and 12 kg of potassium fertilizer were divided into equal amounts and applied twice at 25 and 50 days after planting at the plant stem projection. Plant development was monitored daily, and the following parameters were recorded: the time to first flowering after planting, the height of the first fruit above ground level, the number of nodes on the main stem, the branching pattern of the plant (single, two or three branches, multiple branches), and the total number of fruits harvested at the end of the trial. The fruits were weighed to determine the number of fruits and the total yield (Erdogan, 2017).

Data Analysis

The JUMP package program was used for statistical analysis of the experimental data. Significant differences between the possible effects of paclobutrazol applications and varieties on seedling development characteristics, plant growth, and fruit yield were determined using the LSD multiple comparison test. A significance level of $p < 0.05$ was used for significant differences between applications.

3- RESULTS AND DISCUSSION

Findings from the Seedling Stage

The seedling height, seedling diameter, number of leaves, SPAD, and seedling dry weight values for okra seedlings prior to planting are given in Table 1.

Table 1. Some plant characteristics during the seedling stage

Treatment	Seedling height (cm)	Seedling diameter (mm)	Number of leaves (per plant)	SPAD	Seedling dry weight (%)
Sultani control	10.58	2.45 c	2.21	30.85 c	5.65
Sultani 10 ppm	6.80	2.56 c	2.20	35.70 c	6.84
Sultani 20 ppm	5.37	3.08 ab	2.27	53.80 a	7.92
Sultani mean	7.58 A	2.70 B	2.23	40.12 B	6.80 B
Tombul control	10.91	3.29 a	2.27	41.75 b	6.62
Tombul 10 ppm	5.09	3.02 b	2.27	44.13 b	7.89
Tombul 20 ppm	4.40	3.08 ab	2.13	43.03 b	8.67
Tombul mean	6.80 B	3.13 A	2.22	42.97 A	7.73 A
Control (water)	10.75 a	2.87 b	2.23	36.30 b	6.14 b
10 ppm PP333	5.95 b	2.79 b	2.23	39.92 b	7.37 ab
20 ppm PP333	4.89 c	3.08 a	2.20	48.40 a	8.30 a
ns., not significant *, $p \leq 0.05$ **, $p \leq 0.01$ ***, $p \leq 0.001$	LSD _{var} : 0.58** LSD _{dose} : 1.02** LSD _{var*dose} : ns.	LSD _{var} : 0.22** LSD _{dose} : 0.14* LSD _{var*dose} : 0.26*	LSD _{var} : ns. LSD _{dose} : ns. LSD _{var*dose} : ns.	LSD _{var} : 1.45* LSD _{dose} : 4.27** LSD _{var*dose} : 5.23*	LSD _{var} : 0.65* LSD _{dose} : 1.28* LSD _{var*dose} : ns.

Okra seedling heights varied according to variety and paclobutrazol application rate. Sultani okra seedlings were found to be taller than Tombul okra seedlings. Paclobutrazol application rate affected seedling height, with the shortest seedlings observed at a 20 ppm paclobutrazol application. The 20 ppm dose produced seedlings that were 54.51% shorter than the control. In terms of seedling diameter values, the Tombul variety produced seedlings with thicker stems, with the seedling diameter value of 2.70 mm in the Sultani variety reaching 3.13 mm in the Tombul variety. Similarly, the thickest seedlings were obtained with 20 ppm paclobutrazol applications. It was determined that variety and paclobutrazol applications had no effect on leaf numbers. Variety, application dose, and interaction effects on seedling leaf SPAD values were found to be statistically significant. The SPAD value of the Tombul variety was found to be higher, and the chlorophyll value increased at the 20 ppm application. This situation was also seen in seedling dry weight values; the dry matter content was found to be high in the seedlings of the Tombul variety, and the 20 ppm dose of paclobutrazol applications increased the dry matter content in the seedlings. In the Yozgat region, the seedling height of the Amasya Çiçek okra genotype, known as Kara okra, was found to be 9.01 cm, while that of the Yalova Akköy variety was 10.47 cm. The stem diameter values of the okra genotypes were determined to be 3.09 and 3.48 mm, respectively. In the study, leaf SPAD values and actual leaf counts were found to be similar. Leaf SPAD values were determined to be 45.59-45.63 (Demir et al., 2019).

Findings Related to the Yield Period

Initial Fruit Height and Yield Values

The initial fruit height and yield values for okra plants are presented in Table 2.

Table 2. Initial fruit height and yield values according to applications

Treatment	Initial fruit height (cm)	yield (g m ⁻²)
Sultani control	24.23	548.29
Sultani 10 ppm	15.61	729.48
Sultani 20 ppm	15.23	783.66
Sultani mean	18.36 A	687.14 A
Tombul control	16.03	566.93
Tombul 10 ppm	10.63	563.25
Tombul 20 ppm	9.88	746.37
Tombul mean	12.18 B	625.52 B
Control (water)	20.13 a	557.61 c
10 ppm PP333	13.12 b	646.37 b
20 ppm PP333	12.56 b	765.02 a
ns., not significant *, p≤0.05 **, p≤0.01 ***, p≤0.001	LSD _{var} : 3.72** LSD _{dose} : 3.98** LSD _{var*dose} : ns.	LSD _{var} : 28.32* LSD _{dose} : 62.63*** LSD _{var*dose} : ns.

In okra plants, the first fruit height was found to be statistically significant in terms of variety and application rate parameters. In terms of varieties, the first fruit height was found to be lower in the Tombul variety at 12.18 cm. Paclobutrazol applications had a reducing effect on first fruit height, resulting in reductions of up to 37.61%. In terms of yield values, variety and application rate were found to be statistically significant. Yield was higher in the Sultani okra variety at 687.14 g m⁻², compared to the Tombul variety. Paclobutrazol applications resulted in significant increases in plant yield. Yield, which was 557.61 g m⁻² in the control, was determined to be 765.02 g m⁻² with a 20 ppm paclobutrazol application. Tanal (2002) stated that yield in okra changed with different levels of irrigation under Şanlıurfa conditions, and that the highest yield (1015 kg ha⁻¹) was achieved with irrigation equal to the amount of evaporation. It was stated that increases in plant height were observed with increases in irrigation amount.

Fruit Characteristics

The values for fruit characteristics in okra plants are given in Table 3.

Table 3. Some fruit characteristics according to treatments

Treatment	Average Fruit Weight (g)	Fruit Length (cm)	Fruit Diameter (mm)	Fruit Dry Weight (%)
Sultani control	10.55	10.23 c	13.65 c	14.46
Sultani 10 ppm	13.51	12.81 ab	15.93 bc	15.51
Sultani 20 ppm	16.83	14.84 a	15.20 c	16.62
Sultani mean	13.63 B	12.63 A	14.93 B	15.53 B
Tombul control	17.08	11.11 bc	18.86 ab	16.21
Tombul 10 ppm	17.58	12.88 ab	22.28 a	17.92
Tombul 20 ppm	18.04	11.92 bc	21.00 a	18.94
Tombul mean	17.56 A	11.97 B	20.71 A	17.69 A
Control (water)	13.81 b	10.67 c	16.26 b	15.34 b
10 ppm PP333	15.54 ab	12.85 b	19.11 a	16.72 ab
20 ppm PP333	17.43 a	13.38 a	18.10 ab	17.78 a
ns., not significant *, p≤0.05 **, p≤0.01 ***, p≤0.001	LSD _{var} : 2.32** LSD _{dose} : 2.64* LSD _{var*dose} : ns.	LSD _{var} : 0.55* LSD _{dose} : 1.46* LSD _{var*dose} : 2.16*	LSD _{var} : 4.21** LSD _{dose} : 2.67* LSD _{var*dose} : 3.48*	LSD _{var} : 1.33* LSD _{dose} : 1.56* LSD _{var*dose} : ns.

Significant changes were observed in the average fruit weight, fruit length, fruit diameter, and fruit dry weight values among okra varieties according to paclobutrazol applications. The round variety yielded higher values for average fruit weight, fruit diameter, and fruit dry weight, while the Sultani variety was superior in fruit length values. The average fruit weight of 17.56 g in the Tombul variety was determined to be 13.63 g in the Sultani variety. Similarly, the Tombul variety produced fruits that were 38.71% thicker in terms of fruit diameter values. On the other hand, the Sultani variety also produced fruits that were 5.51% longer than the Tombul variety in terms of fruit length. Although an increase was observed in fruit dry weight values depending on the application dose, this increase was found to be statistically insignificant in the

variety*dose interaction. The application dose had an effect in increasing fruit dry weight values, with the highest fruit dry weight determined at a 20 ppm paclobutrazol dose. Independent of the varieties, the 20 ppm paclobutrazol dose yielded the highest value in all parameters except fruit diameter. Yıldız et al. (2021) reported in their study examining the fruit characteristics of local and foreign okra genotypes that fruit diameter ranged from 6 mm to 36.1 mm, while fruit length ranged from 32.97 mm to 127.10 mm. In the same study, the fruit weight values of the genotypes were determined to be between 3.80 and 19.60 g. Sarıyer et al. (2024) reported that microfertilizer (EM) and vermicompost applications had no effect on fruit width and dry weight values in the Kurfalı okra genotype, but caused increases in fruit length and fruit weight. Fruit length, which was 34.5 mm in the control application, increased to 44.70 mm with vermicompost applications. The high values of the research findings compared to our values are thought to be due to the longer harvest interval in addition to the genotypic effect. Ece et al. (2013), who examined certain plant development and fruit characteristics in Amasya okra genotypes in the Tokat region, determined that the first flower height ranged from 9.60 to 17.20 cm, fruit diameter from 11.50 to 14.10 mm, fruit length from 16.40 to 28.60 mm, and fruit weight from 1.40 to 2.30 g. According to our values, the low data is due to the Amasya genotypes used producing small fruits and being harvested at an earlier stage.

4- CONCLUSION

In okra varieties, paclobutrazol applications applied to seeds resulted in shorter seedlings. After development in the field, these retarding effects were observed to continue for a period of time, and plants with short internodes were observed. Yield values increased in plants with short internodes. The response of varieties to applications was found to be different. Due to the decrease in internode distance, the first fruits formed at a height closer to the soil

level. In our study, the increasing number of internodes in unit plant size increased yield. Genotype behavior is among the most important factors affecting fruit characteristics. Sultani-type varieties/genotypes stand out in terms of fruit length, while the plump okra type yields higher values in terms of fruit diameter. The fact that the genotypes used are local genotypes may also be another reason for the variation observed. In terms of ecological factors, temperature has a high impact. However, due to lower temperature values in the northern belt, where our region is located, compared to our southern and western regions, plants grow more slowly and form wider leaves. Another issue is that the sudden onset of high temperatures during the spring growth period directly affects plant height and, consequently, yield.

In addition to plant height control practices carried out during the seedling stage, it is thought that adjusting the planting and sowing times for different okra varieties and repeating the growth-retarding practices in the field will provide us with more diverse information on the subject.

5- REFERENCES

Binalfew, T., & Alemu, Y. (2016). Characterization of okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) germplasms collected from Western Ethiopia. *International Journal of Research in Agriculture and Forestry*, 3(2), 11–17.

Bozokalfa, M. K., Ugur, A., Kavak, S., & Esiyok, D. (2003). Paclobutrazol soaked seed for seed germination and transplant height control in broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*). In *International Scientific Conference “50 Years University Forestry”* (pp. 55–59). Sofia, Bulgaria.

Copur, H., & Sarı, N. (2012). The effects of paclobutrazol and copper sulfate on growth of greenhouse cucumber seedling production. *Çukurova University Journal of the Faculty of Agriculture*, 27(1), 1–12.

Demir, H., Celik, F., Uçok, Z., & Katgıcı, A. (2019). Determination of seedling characteristics of black (flower) okra grown in Yozgat region. In II. International Agricultural and Forest Congress (8–9 November 2019). Izmir, Türkiye.

Duman, I., & Duzyaman, E. (2003). Growth control in processing tomato seedlings. *Acta Horticulturae*, 613, 95–102.

Duzyaman, E. (1998). Studies on yield, yield components and quality properties of hybrids and their parents in local and foreign okra genotypes (Doctoral dissertation). Ege University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, İzmir, Türkiye.

Duzyaman, E. (2004). Okra cultivation. Republic of Turkey Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Aegean Agricultural Research Institute Directorate.

Duzyaman, E. (2005). Phenotypic diversity within a collection of distinct okra (*Abelmoschus esculentus*) cultivars derived from Turkish landraces. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 52, 1019–1030.

Ece, A., Demirkır, E., & Geboğlu, N. (2013). Description of various plant characteristics and quality of Amasya (Çiçek) okra. *Bahçe*, 42(1–2), 27–33.

Erdogan, N. (2017). Morphological characterization of local okra genotypes (*Abelmoschus esculentus* L.) from Çorum province (Master's thesis). Ordu University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ordu, Türkiye.

Esiyok, D. (2012). Winter and summer vegetable cultivation. Meta Press.

Karagul, S. (2003). Characterization of local okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) genotypes (Master's thesis). Çukurova University, Institute of Natural and Applied Sciences, Adana, Türkiye.

Nwangburuka, C. C., Denton, O. A., Kehinde, O. B., Ojo, D. K., & Popoola, A. R. (2012). Genetic variability and heritability in cultivated okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). Spanish Journal of Agricultural Research, 10(1), 123–129.

Sarıyer, T., Demir, S., Kaya, C., & Cankı, F. F. (2024). Effects of different fertilization applications on fruit quality parameters in Kurfalı local okra genotype. Bahçe, 53(Special Issue 1), 243–248.

Tanal, D. (2022). The effect of different irrigation water amounts on the production and quality of okra (*Abelmoschus esculentus*) (Master's thesis). Harran University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Şanlıurfa, Türkiye.

Thirupathi Reddy, M., Hari Babu, K., Ganesh, M., Chandrasekhar Reddy, K., Begum, H., Purushothama Reddy, B., & Narshimulu, G. (2012). Genetic variability analysis for the selection of elite genotypes based on pod yield and quality from the germplasm of okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench). Journal of Agricultural Technology, 8(2), 639–655.

Turkish Statistical Institute. (2022). Plant production statistics. Ministry of Agriculture and Forestry. Retrieved November 12, 2023, from <https://www.tarimorman.gov.tr>

Ucan, U., & Ugur, A. (2021). Acceleration of growth in tomato seedlings grown with growth retardant. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 45(5), 669–679.

Ugur, A., & Eser, B. (2000). Control of growth in tomato seedlings. In III. National Vegetable Symposium (pp. 61–66). Isparta, Türkiye.

Ugur, A., & Kavak, S. (2007). The effects of PP 333 and CCC on seed germination and seedling height control of tomato. *Acta Horticulturae*, 729, 205–208.

Vural, H., Esiyok, D., & Duman, I. (2000). Cultivated vegetables: Vegetable growing. Ege University Press.

Yıldız, E., Dere, S., Arpacı, B. B., & Daşgan, H. Y. (2021). Morphological characterization of local and foreign okra (*Abelmoschus esculentus* L.) genotypes. *Alatarım*, 20(2), 77–87.

Yıldız, M., Ekbic, E., Düzyaman, E., Serçe, S., & Abak, K. (2016). Genetic and phenotypic variation of Turkish okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench) accessions and their possible relationship with American, Indian and African germplasms. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 25(3), 234–244.

CHAPTER 2

5403 SAYILI TOPRAK KORUMA VE ARAZİ KULLANIMI KANUNU'NA, 6537 SAYILI KANUN İLE YAPILAN DEĞİŞİKLİKLERİN GETİRDİĞİ KAZANIMLAR VE EN GÜNCEL GELİŞMELER

MELTEM AYAZ¹

Giriş

Bir ülkenin kendi kendine yeten bir ülke olabilmesi kendi tarımıyla kendi gıdasını üretmesine bağlıdır. Tarımda dışa bağımlı olmamak ve tarımı sanayii yatırımlarıyla da desteklemek yoluyla ekonomik refaha ulaşmak mümkündür. Bir ülkenin varoluşunda toprak bu nedenle en önemli unsurdur.

Toprak kaybı sadece toprak ve su erozyonlarıyla ortaya çıkmaz. Tarım arazilerinin korunumunda, toprakların doğal yapısından ileri gelen sorunlar (taşlılık, tuzluluk, eğimlilik, toprak derinliği v.b) bir tehdit oluşturmakta iken, asıl sorun ne yazık ki dış faktörlerden kaynaklanan ve çözümü basit faktörlerden oluşmaktadır. Öyle ki; yanlış tarımsal uygulamalar, plansız şehirleşmeler, köyden kente göçler sonucunda atıl kalan tarımsal araziler, nüfusta olan artışla beraber inşaat sahasına dönen araziler

¹ Dr, T.C Tarım ve Orman Bakanlığı, Zeytincilik Araştırma Enstitüsü
Müdürlüğü-İZMİR, Orcid: 0000-0001-6447-2149

nedeniyle kaybedilen topraklarımız hızla artmaktadır (Yüzal , 2019; Çelen, 2021).

Türkiye, gelişmekte olan, nüfusu hızla artan bir ülkedir. Türkiye’de tarım dışı sektörlerin (inşaat, endüstri, sanayii gibi) daha hızlı bir ivmeyle gelişmesi tarım arazilerinin üzerindeki baskıyı artırmaktadır. Öyle ki 1990 yılında 0,76 ha olan kişi başına toplam tarım alanı miktarı, 2022’de 0,28 ha alana düşmüştür (Anonim, 2024-b). Bu nedenlerle topraklarımızı korumaya daha çok özen gösterilmesi ve kanunlarda yapılacak düzenlemelerle daha ciddi yaptırımların hayata geçirilmesinin hızlanması gereklidir.

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de Tarım Arazilerinin Korunması ve Kullanımına Yönelik Politikalara ilişkin yasalar çıkarılmıştır (Ekici ve Sayılı, 2010; Özçelik, 2015; Yavuz ve Topuz, 2015; Kartal, 2019; Anonim, 2024-a). Bu makalemizde Türkiye’de “Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu” nun geçirdiği aşamalara bakma ve en güncel değişiklikleri irdeleme imkanına sahip olacağız.

MATERYAL VE METOT

Araştırmamız sosyal bilimler alanında sıklıkla kullanılan ikincil verilerin değerlendirilmesi yöntemiyle hazırlanmıştır. Kiecolt ve Nathan (1985) ikincil verileri; daha önceden hazırlanmış arşiv bilgilerinden ya da anket sonuçlarından elde edilmiş veriler olarak tanımlamakta, veri bankalarının tamamından ya da bir kısmından farklı kombinasyonlarda bir araya getirilmiş bilgileri bu kapsam havuzuna dahil etmektedirler. Creswell (2003) ise; bir amaca yönelik derlenip toplanmış elde mevcut olan her türlü bilgi, veri ve dökümanları, başka bir amaç için kullanılabilecek ikincil veriler olarak tanımlamaktadır.

Çalışmamızda, “**Toprak Koruma Ve Arazi Kullanımı Kanunu**” ana çatısı altında yer alan Tarım Sektörü Uygulamaları

ve güncel durum hakkında ikincil veriler (strateji planları, kanunlar, çalışma raporları, raporlar ve makaleler vb) incelenmiş ve analiz edilmiştir.

TÜRKİYE’DE “TOPRAK KORUMA VE ARAZİ KULLANIMI KANUNU” NUN GEÇİRDİĞİ AşAMALAR:

Ülkemizdeki toprakla ilgili ilk kanun, 1973 yılında “**1757 Sayılı Toprak ve Tarım Reformu Kanunu**” ismiyle yürürlüğe giren kanundur.

- **1757 Sayılı Toprak ve Tarım Reformu Kanunu:** 17 Temmuz 1973'te yürürlüğe giren bu kanunun temel amacı; tarım arazilerinin en uygun biçimde işletilmesi ve tarımsal üretim in ulusal kalkınmaya göre geliştirilmesinin sağlanmasıdır. Aynı zamanda topraksız ailelerin toprak sahibi yapılmaları, Tarım Reformu Kooperatiflerinin kurularak arazi reformlarının amaçlarının uygulanması için kiracılık ve ortakçılık ilişkilerinin düzenlenmesi hedeflenmiştir. Arazi parçalanmalarının önlenmesi, arazi toplulaştırma çalışmalarının gerçekleştirilmesi ve örnek köylerin oluşturulması hedeflenmiştir. Ayrıca tarımsal faaliyette kullanılan toprak ve su kaynaklarının iyileştirilmesi ve geliştirilmesi ile ilgili imkanların sağlanması, programlamaların yapılması hedeflenmiştir.
- **3083 Sayılı Tarım Reformu Kanunu:** Sulama alanlarında arazi düzenlemesine ilişkin 1 Aralık 1984'te yürürlüğe giren kanunla mevcut toprak kanununda bir takım iyileştirmeler yapılmıştır. Yapılan düzenlemelere göre, dağıtımı yapılan topraklar bölünemez ve haczedilemez veya kiraya verilemez. EĞer iftilik yapmaktan vazgeçilecek olunursa, toprak uygulayıcı kuruluşa rayiç bedeli karşılığında iade edilebilir. Bu değişiklik tarım arazisinin aile işgücünü değerlendirmek için yeterli olmayacak derecede ufak

parçalara parçalanmasının ailenin geçimini zora koyacak kadar küçültülmesinin önünü kapatmak için yapılmıştır. Bunun yanı sıra; mirasın açılışından itibaren 6 ay içinde mirasçıların kendi aralarında aile ortaklığı şeklinde işletmedikleri veya rızaylarıyla kendi aralarında devir ve temlik işlemlerini yapmadıkları durumlarda, toprağın ve eğer varsa işletmeyle ilişkili tüm gayrimenkullerin bedeli uygulayıcı kuruluş tarafından geri alınmaktadır. Ödeme, kanun hükümlerine göre yapılır. Böyle bir durumda, uygulayıcı kuruluşa, geri alınan işletmeyi, öncelik mirasçılarda olmak üzere ya da topraksız olan veya az toprağı olan çiftçilerden birine tahsis etme yetkisi tanımlanmıştır. Kısaca özetlersek; yapılan değişikliklerle, arazi toplulaştırma çalışmalarının hız kazanması ve arazi parçalanmalarının önlenmesi, tarım arazilerinin amaç dışı kullanım durumunun iyileştirilmesi amaçlanmıştır (Anonim, 1984; Ekinci ve Sayılı, 2010).

- **5403 Sayılı Toprak Koruma Ve Arazi Kullanımı Kanununa Bir Bakış:** 19 Temmuz 2005 tarihinde, tarım arazilerinin amaç dışı ve yanlış kullanımlarının önlenmesi ve arazi korumayı sağlayacak yöntemlerin oluşturulmasına yönelik ihtiyaçların ortaya çıkması üzerine; sorumluluk ve görev tanımlarının netleştirilmesini sağlayan, sürdürülebilir arazi yönetimi anlayışının benimsendiği 5403 sayılı yasa çıkarılmıştır. Sürdürülebilir arazi yönetimi anlayışının temel olarak benimsendiği 5403 sayılı bu yasanın amaç ve kapsamıyla ilgili en önemli maddeleri şunlardır:

Madde 1’de bu kanunun çıkış amacının, topraklarımızın doğal veya yapay yollarla olabilecek kaybını önlemek ve niteliğini yitirmesini engelleyerek korunmasını, geliştirilmesini sağlamak olduğu belirtilmiştir. Aynı zamanda bu kanunun çevreyi önceliğe alarak sürdürülebilir

kalkınma ilkesiyle, plânlı arazi kullanımını sağlama konusunda usûl ve esasları belirleyen bir kanun olduğu vurgulanmıştır.

Madde 2’de bu kanunun aşağıda sayılan konularla ilişkili çözüm sunulmasıyla ilgili, görev, sorumluluk ve yetkilerin tanımlamalarının yapılmasıyla ilgili esasları ve usûlleri kapsadığı belirtilmiştir. Bu hususlar; arazilerin sınıflandırılması ve toprak kaynaklarının bilimsel esaslara dayanarak belirlenmesi, ve arazi kullanım plânlarının hazırlanması, koruma ve geliştirme süreci boyunca toplumsal, ekonomik arazi yönetimi kavramı geliştirilmesi ve Türkiye gereksinimi gözetilerek çevresel boyutlarının katılımcı yöntemlerle değerlendirilmesi, tarım arazilerinin amaç dışı ve yanlış kullanımların önlenmesi ve arazilerin korunumunu sağlayacak yöntemlerin oluşturulması olarak sıralanmıştır.

Madde 10’da 2 temel konu üzerinde açıklamalar yapılmıştır; arazi kullanım planlarının oluşturulması ve arazilerin usulüne uygun kullanımı. Hazırlanan arazi kullanım planlarında; ülkesel, bölgesel ve yerel ölçekte tarım arazileri, mera arazileri, orman arazileri, yerleşim alanları, özel kanunlara göre belirlenmiş bazı alanlar, toplum hedefli altyapı tesisleri ve diğer arazi kullanım şekillerine yer verildiği belirtilmektedir. Arazi kullanım şekillerinin belirlenmesi hususunda ise; toprak haritaları ve toprak veri tabanı, su potansiyeli esas alınarak toprağın niteliği, arazinin özellikleri gözetilerek uygun arazi kullanım şekillerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu hedefe ulaşmada çevresel sürdürülebilirlik ilkesinin yanı sıra ülkesel ve bölgesel planlamalara temel oluşturan ve diğer fizikî planlamaların da gözetilerek uygun arazi kullanım şekillerinin belirleneceği bildirilmektedir.

Madde 11’de arazi sahiplerinin ve araziyi kullananların hazırlanan plân ve projelere uymakla yükümlü olduğu bildirilmiştir.

Kanunun 20. ve 21. maddelerinde ise tarım ve tarım dışı arazi kullanımının ilgili koruma projelerine uygun olmaması durumunda izinsiz yapılan her türlü yapının yıkılması hükme bağlanmıştır.

Kısaca özetlersek; yapılan değişikliklerle, arazi parçalanmalarının önlenmesi, tarım arazilerinin amaç dışı kullanım durumunun iyileştirilmesi ve arazi toplulaştırma çalışmalarının hız kazanması amaçlanmıştır. Ancak, yürürlüğe konulan Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanununda sürdürülebilir arazi yönetimi temel alınıp bir hayli benimsenmiş olsa da güçlü bir denetim mekanizması getirilememiştir bu da ileride yeni bir revizyon ihtiyacı getirecektir (Anonim, 2005; Yüzal, 2019 ; Erkan ve ark, 2011).

EN GÜNCEL KANUNUMUZ OLAN 5403 SAYILI TOPRAK KORUMA VE ARAZİ KULLANIMI KANUNUNA BİR BAKIŞ:

Gelişen ve değişen toplumsal şartlar nedeniyle bir önceki bazı hususlarda revizyona ihtiyaç duyulması, ayrıca ülkemizdeki mevcut işletmelerin küçük, dağınık yapıda ve parçalı oluşlarının tarım yapılmasını zorlaştırması ve mevcut tarım arazilerinin miras yoluyla daha da küçük parçalara bölünmeye maruz kalması üzerine, kanunda değişikliğe gidilmesi ihtiyacı oluşmuştur. 30 Nisan 2014 tarihinde; “5403 sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı” Kanunu içerisindeki 8. maddede bir takım değişiklikler yapılarak tarım arazilerinin bölünmesini engellemeyi amaçlayan “6537 Sayılı Kanun” oluşturulmuştur.

- **5403 Sayılı Kanunun 6537 Sayılı Kanun İle Değişik Hükümleri:** 6537 sayılı kanunla yapılan değişikliklerin temel amacı aşağıda sayılan 3 madde etrafında özetlenebilir:

1. Toprağın korunması, geliştirilmesi, tarım arazilerinin kullanım amacına uygun sınıflandırılması,
2. Asgari tarımsal arazi ve yeter gelirli tarımsal arazi büyüklüklerinin net sınırlarla belirlenmesi ve bölünmelerinin önlenmesi,
3. Tarımsal arazi ve yeter gelirli tarımsal arazilerin çevreye öncelik veren, sürdürülebilir kalkınma ilkesine uygun olarak planlı kullanımını sağlayacak usul ve esasları belirlemek “ tir.

Kısaca özetlersek; en güncel kanunumuza göre, Tarım ve Orman Bakanlığı'nca belirtilen minimum büyüklüğe sahip tarımsal araziler, artık bölünemez bir eşya niteliğini kazanmıştır. 6537 Sayılı kanunun en büyük kazanımı sadece bu değildir, bunun yanı sıra arazi miras hukukuyla, tarım arazilerinin sahipliğinin miras olarak belirlenmiş ise mutlaka devir mecburiyetinin getirilmesi, eğer sınırları aynı ise tarım arazilerine önalım hakkı tanınması, kazanımları korunmaktadır. Ayrıca paylı sahipliği olan tarım arazilerinde payın aktarımı ve rehinini yasaklayan karar da mevcuttur (Anonim, 2014).

EN GÜNCEL KANUNUMUZDA 6537 SAYILI KANUNLA YAPILAN DEĞİŞİKLİKLERİN GETİRDİĞİ KAZANIMLAR

Bu kanunla getirilen başlıca düzenlemeler şu şekilde özetlenebilir:

1. Tarım arazilerine net bir büyüklük sınırlaması getirilmiş ve tarım arazilerine bölünemez eşya niteliği kazandırılmıştır.
2. Tarım Bakanlığınca; mutlak, marjinal ve özel ürün arazilerinde bölünebilecek en alt parsel 2 ha, dikili araziler için 0,5 ha, tarım yapılan örtü altı yetiştiricilik arazilerinde 0,3 ha bölünebilecek en alt parsel sınırı olarak tanımlanmıştır.
3. Tarım Bakanlığınca büyüklükleri belirlenen ve yasayla resmileştirilen tarım arazilerinin parçalanması, küçültülmesi ve pay olarak ayrılması yasaktır. Eğer bir arazinin mülkiyeti devlete aitse bu arazilerin satış prosedürleri haricinde pay ve paydaş adedi yükseltilemez ve Tarım Bakanlığınca aralarında ekonomik ilişki olduğu tespit edilen ve aynı şahsa ait olan tarımsal alanlar beraber ilişkilendirilir.
4. Kuru tarım yapılan arazilerde 10 da, sulu tarım yapılan arazilerde 5 da, dikili tarım arazilerinde 3 da, örtü altı tarımı olan arazilerde 1 da ve üzerindeki (hisseli veya müstakil) tüm araziler eğer aynı köy ya da mahalle sınırları içinde yer alıyorsa ekonomik bir bütünlük teşkil ederler.
5. Farklı sınırlar içinde konumlanan (köy ve mahalle anlamında) ve en uzak parselle olan uzaklığı 5 km'den daha az olan kuru tarım yapılan arazilerde 10 da, sulu tarım yapılan arazilerde 5 da, dikili tarım arazilerinde 3 da, örtü altı tarımı yapılan arazilerde 1 da ve daha yukarıdaki büyüklükteki hisseli veya müstakil oluşuna bakılmaksızın tüm araziler ekonomik bir bütünlük teşkil ederler.

6. Tarımsal üretimin yapıldığı parselle uzaklığı 5 km üzerinden daha fazla olan, köy ve mahalle açısından farklı sınırlar içinde konumlanan araziler kanuna göre ekonomik bütünlük teşkil etmez.

Kısaca özetlersek; en güncel 6537 sayılı toprak kanunumuzun çıkışındaki temel amaç tarım arazilerinde miras, devir vb nedenlerle olan parçalanmaların ve küçülmelerin engellenmesidir. Bu kanunda;

1. Tarımsal arazi büyüklüklerini ifade ederken; yeter geliri ve asgarî büyükte ifadelerine yer verilmesi,
2. Medeni hukuk kapsamında bu değişikliklerin en önemli olanı; tarım arazisi miras olarak belirlenmişse sahipliğinin devri mecburiyetinin getirilmesi hususuna yer verilmesi,
3. Aynı sınırlarda yer alan tarım arazi yurtluklarına önalım hakkı tanınması,
4. Tarım arazileri paylı sahiplikteyse bunlarda payın aktarımını ve rehinini yasaklayan kararın çıkarılması ile ilgili konularda köklü değişiklikler yapılmıştır.

Burada üzerinde durulması gereken en önemli konu, toprak kaynaklarımıza sahip çıkılmasıyla ilgili alınan bu önlemlerin işlevsel olabilmesi için toplumun bu konu hakkındaki bilgisinin ve koruma bilincinin okul sıralarından başlayarak arttırılması gerekliliğidir. Bu sağlanamadığı takdirde, alınan önlemler tek başına yeterli fayda sağlayamayacaktır (Anonim, 2014 ve Özçelik, 2015).

7442 SAYILI TARIM VE ORMAN KANUNU VE BAZI KANUNLARDA YAPILAN DEĞİŞİKLİKLERİN GETİRDİĞİ EN GÜNCEL KAZANIMLAR:

5 Nisan 2023 tarihine gelindiğinde, Anayasa Mahkemesinin kararıyla **7442 sayılı Tarım ve Orman Kanunu** ve bazı kanunlarda değişiklik yapılmıştır. Bu kapsamda, üst üste iki yıl süreyle işlenmeyen, atıl kalan tarım arazilerinin üretime kazandırılması amacıyla arazi sahiplerinin arazilerini tarımsal ekim için kiraya verebilmelerinin önü açılmıştır (Anonim, 2023-a).

Kamuoyunda daha çok orman kanunu diye bilinen bu son değişiklikle edinilen diğer kazanımlardan bahsedecek olursak;

1. Planlı Üretime Geçilecek: Hasat döneminde hiçbir çiftçimizin pazarlama sorunu yaşamaması için alınan tedbirlerin başında, tarım havzası modeline göre üretim yapılması gelmektedir. Arz ve talep miktarı dikkate alınarak belirlenen ürünlerin üretimi teşvik edilecektir.
2. Suya Göre Tarım Yapılacak: İklim değişikliğini dikkate alarak doğal kaynaklarımızın korunması hedeflenecektir. Suyu merkezine alan bir anlayışla bitkisel ve hayvansal üretim planlanacaktır.
3. Üretim Kaynakları En İyi Şekilde Kullanılarak Tarımsal Hasıla Arttırılacaktır: Arz ve talep dikkate alınarak üretilecek ürün en uygun yerde, ihtiyaç duyulduğu miktar kadar üretilecektir.
4. Boş Arazi Kalmayacak: Üst üste iki yıl süreyle işlenmeyen, atıl kalan tarım arazilerinin üretime kazandırılması amacıyla arazi sahiplerinin arazilerini tarımsal ekim için kiraya verebilmelerinin önü açılacaktır. Bahsi geçen kiralama işlemi, arazinin vasfının değiştirilmemesi şartıyla ve rayiç bedelden daha aşağı olmaması şartıyla yapılabilecektir. Kiralamada, sivil toplum kuruluşlarına ve meslek odalarına ve arazinin bulunduğu yerleşim merkezinde ikamet edenlere öncelik hakkı tanınacaktır.

5. Üretim Yapılan Tüm Alanlar Kayıt Altına Alınacaktır: Bitkisel üretimle ilgili destekleme ödemeleri yapılırken ÇKS (Çiftçi Kayıt Sistemi) ile birlikte Tarım Bakanlığınca belirlenen kayıt sistemleri dikkate alınacaktır. Ayrıca, tapu veya mülkiyete dayanan kayıt yerine üretimin yapıldığı bütün alanlar kayıt altına alınarak bu alanların ürün desteklemelerinden yararlandırılmasına olanak sağlanacaktır.
6. Sözleşmeli Üretim Yaygınlaştırılacaktır: Yapılacak sözleşmede, tarafların hak ve sorumlulukları ile tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini de koruyacak şekilde sözleşmeye ilişkin genel şartlar Tarım ve Orman Bakanlığınca belirlenecektir. Sözleşmeli üretimde ortaya çıkabilecek uyuşmazlıklar, kanun değişikliği ile getirilen uzman ara bulucu ve basit yargılama usulü yoluyla kısa sürede çözüme kavuşturacaktır. Çiftçi ile alıcı arasındaki güç dengesizlikleri giderilecektir. Küçük üreticilerimizi korumak için tüm yargılama ve icra takip giderlerinden üreticilerimiz geçici olarak muaf tutulacak, bu giderler avans olarak ödenecektir.
7. İlaç Etkin Maddesi Amaçlı Kenevir Yetiştiriciliği Yapılabilecek: Hali hazırda ülkemizde lif ve tohum üretimi amacıyla izne tabii olarak üretilen kenevir, ilaç etken maddesi olarak da izne tabii bir biçimde TMO (Toprak Mahsulleri Ofisi Genel Müdürlüğü) kontrolünde üretilenilecektir. Kenevir üretiminin tüm aşamaları etkin bir şekilde kontrol edilecek ve izlenecektir. Benzer bir şekilde; ülkemizde uzun yıllardır üretimi yasak olan haşhaş bitkisi de TMO tarafından uluslararası anlaşmalara uygun olarak başarılı bir şekilde üretilmeye devam edilmektedir.
8. Orman Köylüsü Güçlendirilecek: Orman köylüleri, yakacak odununu ve ev yaparken kullanacakları keresteyi yüzde 70 indirimli alabilecekler. Orman köylülerinin ormanla ilgili

mülkiyet sorunları çözüme kavuşturulacak ve gelir düzeylerini arttıracak tedbirler alınacak. Orman köylülerinin sigorta yaptırımları teşvik edilecek, ormancılıkta dijitalleşmede önemli yenilikler getirilecektir. Ormanlarımızın yangın dahil daha etkin korunması sağlanacak, ormanlık alanlardaki yanan alanların rehabilitasyon işlemleri daha hızlı yürütülecektir. Orman yangınlarında hayatını kaybeden orman personeli ile diğer kamu görevlileri ve gönüllüler şehit statüsüne alınacaklardır (Anonim, 2023-b).

9. Planlı Üretime Geçilecek: Hasat döneminde hiçbir çiftçimizin pazarlama sorunu yaşamaması için alınan tedbirlerin başında, tarım havzası modeline göre üretim yapılması gelmektedir. Arz ve talep miktarı dikkate alınarak belirlenen ürünlerin üretimi teşvik edilecektir.
10. Suya Göre Tarım Yapılacak: İklim değişikliğini dikkate alarak doğal kaynaklarımızın korunması hedeflenecektir. Suyu merkezine alan bir anlayışla bitkisel ve hayvansal üretim planlanacaktır.
11. Üretim Kaynakları En İyi Şekilde Kullanılarak Tarımsal Hasıla Arttırılacaktır: Arz ve talep dikkate alınarak üretilecek ürün en uygun yerde, ihtiyaç duyulduğu miktar kadar üretilecektir.
12. Boş Arazi Kalmayacak: Üst üste iki yıl süreyle işlenmeyen, atıl kalan tarım arazilerinin üretime kazandırılması amacıyla arazi sahiplerinin arazilerini tarımsal ekim için kiraya verebilmelerinin önü açılacaktır. Bahsi geçen kiralama işlemi, arazinin vasfının değiştirilmemesi şartıyla ve rayiç bedelden daha aşağı olmaması şartıyla yapılabilecektir. Kiralamada, sivil toplum kuruluşlarına ve meslek odalarına ve arazinin bulunduğu yerleşim merkezinde ikamet edenlere öncelik hakkı tanınacaktır.

13. Üretim Yapılan Tüm Alanlar Kayıt Altına Alınacaktır: Bitkisel üretimle ilgili destekleme ödemeleri yapılırken ÇKS (Çiftçi Kayıt Sistemi) ile birlikte Tarım Bakanlığınca belirlenen kayıt sistemleri dikkate alınacaktır. Ayrıca, tapu veya mülkiyete dayanan kayıt yerine üretimin yapıldığı bütün alanlar kayıt altına alınarak bu alanların ürün desteklemelerinden yararlandırılmasına olanak sağlanacaktır.
14. Sözleşmeli Üretim Yaygınlaştırılacaktır: Yapılacak sözleşmede, tarafların hak ve sorumlulukları ile tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini de koruyacak şekilde sözleşmeye ilişkin genel şartlar Tarım ve Orman Bakanlığınca belirlenecektir. Sözleşmeli üretimde ortaya çıkabilecek uyuşmazlıklar, kanun değişikliği ile getirilen uzman ara bulucu ve basit yargılama usulü yoluyla kısa sürede çözüme kavuşturacaktır. Çiftçi ile alıcı arasındaki güç dengesizlikleri giderilecektir. Küçük üreticilerimizi korumak için tüm yargılama ve icra takip giderlerinden üreticilerimiz geçici olarak muaf tutulacak, bu giderler avans olarak ödenecektir.
15. İlaç Etkin Maddesi Amaçlı Kenevir Yetiştiriciliği Yapılabilecek: Hali hazırda ülkemizde lif ve tohum üretimi amacıyla izne tabii olarak üretilen kenevir, ilaç etken maddesi olarak da izne tabii bir biçimde TMO (Toprak Mahsulleri Ofisi Genel Müdürlüğü) kontrolünde üretilebilecektir. Kenevir üretiminin tüm aşamaları etkin bir şekilde kontrol edilecek ve izlenecektir. Benzer bir şekilde; ülkemizde uzun yıllardır üretimi yasak olan haşhaş bitkisi de TMO tarafından uluslararası anlaşmalara uygun olarak başarılı bir şekilde üretilmeye devam edilmektedir.
16. Orman Köylüsü Güçlendirilecek: Orman köylüleri, yakacak odununu ve ev yaparken kullanacakları keresteyi yüzde 70 indirimli alabilecekler. Orman köylülerinin ormanla ilgili

mülkiyet sorunları çözüme kavuşturulacak ve gelir düzeylerini arttıracak tedbirler alınacak. Orman köylülerinin sigorta yaptırmaları teşvik edilecek, ormancılıkta dijitalleşmede önemli yenilikler getirilecektir. Ormanlarımızın yangın dahil daha etkin korunması sağlanacak, ormanlık alanlardaki yanan alanların rehabilitasyon işlemleri daha hızlı yürütülecektir. Orman yangınlarında hayatını kaybeden orman personeli ile diğer kamu görevlileri ve gönüllüler şehit statüsüne alınacaklardır (Anonim, 2023-b).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de arazilerin yanlış ve amaç kullanımı tarımsal üretimi ve ona bağlantılı olarak gıda üretimini tehdit eden en önemli sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Türkiye nüfusu hızla artan gelişmekte olan bir ülke olması nedeniyle, Türkiye’de tarım dışı sektörlerin (inşaat, sanayii, madencilik, endüstri v.b) daha hızlı gelişmesi tarım arazileri üzerindeki baskıyı artırmaktadır. Bir de son yıllarda çıkarılan Büyükşehir Yasası ile de çok sayıda ilde köylerin tüzel kişiliklerinin ortadan kaldırılarak buraların büyükşehir sınırlarına dahil edilmesi gelecekte tarım toprakları üzerindeki baskıyı daha da artıracaktır. Bu nedenle bu konu ilk olarak ele alınması gereken öncelikli bir konudur. Ayrıca bu konunun tarım lehine çevrilmesi için yapılması gereken yeni yasal revizyonlara ihtiyaç vardır.

Bir diğer mevzu ise arazi kullanım planlarında daha keskin sınırlar çizilmeli, cezai yaptırımlar getirilmeli ve verimli tarım arazilerinin olduğu yerlere konut yapım izni verilmemesinin şartları daha keskin sınırlarla çizilmelidir. Günümüzde Türkiye’nin çok farklı yörelerindeki verimli ovalar üzerine gitgide artan bir ivmeyle konutlar yapılmakta bu durum hem deprem riskini tetiklemekte hem de arazilerin parçalanmasına neden olmaktadır. Bu nedenle şehirlerin yerleşim sahaları belirlenirken özellikle verimsiz yerler

seçilmeli ve yeni konut yapacak firmalara bu arazilerden yer tahsis edilmelidir.

Tarım arazilerinin parçalanmasını engellemek için resmi kurumlar arasında Tarım ve Orman Bakanlığı, Devlet Su İşleri, Tarım Reformu Genel Müdürlüğü ve Tapu Kadastro Müdürlükleri ortak bir iletişim ağında karşılıklı görüş alışverişlerini yapabilecekleri bir koordinasyon oluşturulmalıdır. Oluşturulacak bu kurul ya yeni bir üst kurul olmalı ya da her ilimizde halihazırda bulunan Toprak Koruma Kurullarının yeniden revize edilerek bu kurula bağlı ve daha aktif hale getirilmesi sağlanmalıdır.

En son olarak miras kanununun gereği olarak tarımsal işletmenin sadece bir kişiye özgülendiği hallerde, söz konusu arazinin özgülendiği mirasçı kişiye diğer mirasçılara olan borcunu daha rahat ödeyebilmesi ve tarımsal üretime devam edebilmesini sağlamak için uzun vadeli ve düşük faizli tarımsal krediler sağlanmalıdır.

Kaynakça

Anonim, (1984). 01.12.1984 tarihli Resmi Gazete. Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü, Sayı: 18592, Ankara.

Anonim, (2005). 19.07.2005 tarihli Resmi Gazete. Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü, Sayı: 25880, Ankara.

Anonim, (2014). 30.04.2014 tarihli Resmi Gazete. Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü, Ankara.
<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.5403.pdf> Erişim tarihi: 5.7.2025.

Anonim, (2023-a). 05.04.2023 tarihli Resmi Gazete. Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü,
<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=7442&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5> Erişim tarihi: 5.7.2025.

Anonim, (2023-b). Tarım Ve Orman Kanunu İle Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair 7442 Sayılı Kanun'un Getirdiği Yenilikler Broşürü, 20 sayfa. Tarım ve Orman Bakanlığı, Eğitim Yayın Dairesi Başkanlığı. Web adresi:

https://www.tarimorman.gov.tr/EYDB/Belgeler/QrCodes/7442_SA_YILI_KANUN.pdf Erişim tarihi: 5.7.2025.

Anonim, (2024 a). T.C. Resmi Gazete, 30. 04. 2014 tarihli ve 6537 sayılı. 5403 Toprak Koruma ve Arazi Kullanım Kanunu. Web available: <https://www.lexpera.com.tr/resmi-gazete/metin/7442-orman-kanunu-ve-bazi-kanunlarda-degisiklik-yapilmasina-dair-kanun-32154-7442> Erişim tarihi: 5.7.2025.

Anonim, (2024 b) Kişi başına düşen tarım alanları göstergeleri
https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/kisi-basina-tarim-alani-i-85832#_edn1 Erişim tarihi: 06.7.2025.

Creswell, J. W. (2003). *Research Design: Qualitative and Mixed Methods Approaches*. 2 Ed. Sage publications, Inc.

Ekici, K & Sayılı, M. (2010). Tarım Arazilerinin Parçalanmasını Önlemeye Yönelik Mevzuat Üzerine Bir İnceleme. GOÜ, Ziraat Fakültesi Dergisi, 2010, 27(2), 121-129.

Erkan, H., Seylam, G & Yaşayan, A. (2011). Arazi Yönetimi Kavramı ve Türkiye Gereksinimi .TMMOB Harita ve Kadastro Müh Odası. 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı. Ankara. 18-22 Nisan 2011. <https://www.hkmo.org.tr>

Kartal, B. (2019). 6537 Sayılı Kanun ile 5403 Sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu'na Getirilen Değişikliklerin Medenî Usûl Hukuku Bakımından İncelenmesi, Selçuk Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, C.27, S.3, s: 845-884.

Kiecolt K. J & Nathan , L. E. (1985). *Secondary Analysis of Survey Data. Series: Quantitative Applications in Social Sciences*, SAGE Publication.

Özçelik, Ş. B. (2015). 5403 Sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu'nda 6537 Sayılı Kanun'la yapılan değişiklikler ve değerlendirilmesi. *Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Hukuk Fakltesi Dergisi*, 19 (1), 87-110.

Yavuz, C & Topuz, M. (2015). Toprak Koruma Ve Arazi Kullanımı Kanununda Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun'un Türk Medeni Kanunu'nun Miras Hukukuna İlişkin Hükümlerinde Yaptığı Değişiklikler. *Marmara Üniversitesi Hukuk Fakültesi Hukuk Araştırmaları Dergisi*, 21(2), 663-700.

Yüzal, B. (2019). Türkiye'de Tarım Arazilerinin Korunması Ve Kullanımına İlişkin Sorunlar Ve Politikalar. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü. 118 sayfa.

CHAPTER 3

Meyve Muhafazasında Uçucu Yağların Kullanım Potansiyeli

Saadet KOÇ GÜLER¹

Giriş

Hasat sonrası kayıplar, taze meyve ve sebzelerde kalite düşüşü ve miktar kaybı açısından tarımsal üretimin en kritik aşamalarından birini oluşturmaktadır. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) verilerine göre, dünya genelinde üretilen meyve ve sebzelerin yaklaşık %30–45'i hasat sonrası süreçte çeşitli nedenlerle kayba uğramaktadır. Bu kayıpların önemli bir bölümü, hasat sonrası dönemde gelişen fungal ve bakteriyel patojenlerden kaynaklanmaktadır. Özellikle *Botrytis cinerea*, *Penicillium* spp., *Alternaria* spp. ve *Fusarium* spp. gibi etmenler; meyvelerde çürüme, yumuşama, renk değişimi ve tat–aroma bozulmalarına yol açarak pazarlanabilirliği ciddi biçimde sınırlandırmaktadır.

Geleneksel olarak bu sorunların kontrolünde sentetik fungisitler ve kimyasal koruyucular yaygın biçimde kullanılmaktadır. Ancak bu maddelerin kalıntı problemleri, patojenlerde direnç gelişimi, çevresel kirlilik ve insan sağlığı

¹ Doç. Dr., Ordu Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, 0000-0001-5015-7610

üzerindeki potansiyel olumsuz etkileri, alternatif ve sürdürülebilir muhafaza yöntemlerinin araştırılmasını zorunlu kılmıştır. Son yıllarda tüketici eğilimlerinin doğal, katkısız ve çevre dostu ürünlere yönelmesi, bitkisel kökenli doğal bileşiklerin önemini daha da artırmıştır.

Bu bağlamda uçucu yağlar, sahip oldukları antimikrobiyal ve antioksidan özellikler nedeniyle hasat sonrası meyve muhafazasında sentetik kimyasallara alternatif olarak değerlendirilen en önemli doğal bileşik gruplarından biri olarak öne çıkmaktadır.

Uçucu Yağların Tanımı ve Genel Olarak Meyve Muhafazasında Kullanımı

Uçucu yağlar, aromatik bitkilerin çiçek, yaprak, meyve, tohum, kabuk ve kök gibi farklı organlarından genellikle su buharı distilasyonu, hidrodistilasyon veya soğuk presleme yöntemleriyle elde edilen; oda sıcaklığında uçucu özellik gösteren kompleks bileşik karışımlarıdır. Kimyasal olarak başlıca monoterpenler, seskiterpenler ve bunların oksijenli türevlerinden oluşmaktadır.

Uçucu yağlar (örneğin lavanta, kekik uçucu yağı), sabit yağlardan (ceviz yağı, ayçiçek yağı gibi) belirgin şekilde farklıdır. Keskin ve karakteristik bir kokuya sahip olan uçucu yağlar, canlılar için enerji kaynağı değildir; buna karşın antimikrobiyal ve antioksidan özellik gösterirler. Sabit yağlar ise genellikle bitkilerin tohum ve meyvelerinden elde edilen, uçucu olmayan ve besin değeri yüksek yağlardır. Antimikrobiyal etkileri sınırlı olup uçucu yağlar gibi güçlü aromatik özellik göstermezler.

Uçucu yağların meyve muhafazasında kullanımının, gıdaların korunmasında baharatların geleneksel kullanımına dayandığı söylenebilir. Tarihsel olarak, meyvelerin kurutulmadan önce aromatik bitkilerle hazırlanmış çözeltilere daldırılarak işlendiği bilinmektedir. Bu uygulamalarda aromatik bitkilerin antimikrobiyal özelliklerinden yararlanılarak daha güvenli bir muhafaza süreci

sağlanmıştır. Uçucu yağların antimikrobiyal etkilerine ilişkin bilimsel raporlar 19. yüzyıldan itibaren literatürde yer almaktadır (Zaika, 1998).

Uçucu yağların meyve muhafazasında kullanımına yönelik çalışmalar, ağırlıklı olarak üzüksü meyveler üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu grubu sert çekirdekli, yumuşak çekirdekli ve sert kabuklu meyveler izlemektedir (Tablo 1, 2, 3, 4).

*Tablo 1. Uçucu yağların üzümsü meyvelerin muhafazasında
kullanıldığı bazı çalışmalar*

Uygulanan Uçucu Yağlar/Etken maddeler	Meyve	Araştırmacı(lar)
Okaliptüs, kekik ve kayısı çekirdeği (Hasattan önce, bitkiye uygulama)	Çilek (<i>Fragaria x ananassa</i> cv. Rubygem)	(Şener & ark., 2022)
Kekik, kimyon, nane, tarçın ve çörekotu (Hasattan sonra, pulverize)	Çilek (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.)	(Kasım & ark., 2019)
Yenilebilir film+Citral, eugenol	Çilek (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.)	(Guerreiro & ark., 2015)
Timol, mentol, eugenol (gaz)	Çilek (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.)	(Wang & ark., 2007)
Yenilebilir film+timol Yenilebilir film+CaCl ₂	Çilek (<i>Fragaria x ananassa</i> cv. Festival)	(Amal & ark., 2010)
Çay ağacı (Hint defnesi) (gaz)	Çilek (<i>Fragaria ananassa</i> Duch. cv. Hongyan)	(Xingfeng & ark., 2013)
Ozon gazı Kimyon uçucu yağı (çözelti hazırlanıp püskürtülerek)	Kivi (<i>Actinidia deliciosa</i> L.)	(Yaşar, 2018)
MAP+Kekik (Filtre kağıtlara emdirilip poşete koyma)	Avakado (Fuerte ve Hass)	(Sellamuthu & ark., 2013a)
Kekik, nane, limon otu (Kağıt disklerle emdirilmiş uçucu yağlar)	Avakado (Fuerte ve Hass)	(Sellamuthu & ark., 2013b)
MAP+Eugenol, mentol, timol (Gazlı bezlere emdirilmiş uçucu yağ)	Sofralık üzüm (cv. Crimson Seedless)	(Valverde & ark., 2005)
Melekotu (Yenilebilir film)	Sofralık üzüm (<i>Vitis vinifera</i> L.)	(Das & ark., 2023)
Mentol ve timol (Gazlı bezlere emdirilmiş uçucu yağ)	Üzüm (Kozak siyahı)	(Çelik & ark., 2011)
Eugenol ve timol (Gazlı bezlere emdirilmiş uçucu yağ)	Sofralık üzüm (<i>Vitis vinifera</i> L. cv. Autumn Royal)	(Valero & ark., 2006)
MAP+ eugenol, timol ve karvakrol (Gazlı bezlere emdirilmiş uçucu yağ)	Sofralık üzüm (<i>Vitis vinifera</i> L. cv. Aledo)	(Guillen & ark., 2007)
Yenilebilir film+nane	Sofralık üzüm (<i>Vitis labrusca</i> cv. Isabella)	(Guerra & ark., 2016)
Kekik, rezene, sater (Sprey)	Sofralık üzüm (<i>Vitis vinifera</i> (L.) cv. Tabarzeh)	(Ali A. A., 2010)
Limon otu, Malaban otu (<i>Cymbopogon flexuosus</i>), fesleğen (Sprey)	Embul muzı (<i>Musa acuminata</i>)	(Anthony & ark., 2003)
Metil jasmonat, alil izosiyanat, çay ağacı, etil alkol (Uçucu yağ bir kaba konularak gaz hale geçmesi sağlanmış)	Ahududu (<i>Rubus idaeus</i> L.)	(Wang., 2003)
Kekik, tarçın, malaban otu (Antimikrobiyal paketleme sistemi)	Papaya (<i>Carica papaya</i> L.)	(Espitia & ark., 2012)

Tablo 2. Uçucu yağların sert çekirdekli meyvelerin muhafazasında kullanıldığı bazı çalışmalar

Uygulanan Uçucu Yağlar/Etken maddeler	Meyve	Araştırmacı(lar)
Kekik, acı badem (MAP poşetlere emdirilmiş)	Şeftali (<i>Prunus persica</i> cv. ANET 55)	(Alkin & ark., 2022)
MAP+Eugenol, timol, mentol, ökaliptöl (Gazlı beze emdirilmiş)	Kiraz (<i>Prunus avium</i> L. cv. StarKing)	(Serrano & ark., 2005)
MAP+karvakrol, thujon (Gazlı beze emdirilmiş)	Kiraz (<i>Prunus avium</i> L. cv. 0900 ziraat, Regina, sweatheart)	(Göksel & Aksoy, 2017)
AVG+timol (Daldırma)	Kiraz (<i>P.×gondouinii</i> Rehd.) (Majari)	(ValizadehKaji & Fakhri, 2023)
Metil jasmonat, sitokinin ve lavanta yağı	Kayısı (<i>Prunus armeniaca</i> L. cv. Bebeko)	(Çavuşoğlu & ark., 2020)
MAP+ mentol, timol (Gazlı beze emdirilmiş)	Kayısı (<i>Prunus armeniaca</i> L. cv. Gheisi)	(Mirdeghan & ark., 2023)

Tablo 3. Uçucu yağların yumuşak çekirdekli meyvelerin muhafazasında kullanıldığı bazı çalışmalar

Uygulanan Uçucu Yağlar/Etken maddeler	Meyve	Araştırmacı(lar)
Kekik, fesleğen, biberiye (sprey)	Armut (<i>Pyrus communis</i> L. cv. Sardrood)	(Marandi & ark., 2011)
Sitron, hexanal, 2-(E)-hexenal, sitral ve karvakrol	Elma (<i>Malus communis</i> var. Golden delicious)	(Siroli & ark., 2014)
Kekik ve lavanta (daldırma)	Elma (<i>Malus domestica</i> Borkh. cv. Jonagold)	(Sharafi & ark., 2011)
Yenilebilir film+kekik	Elma (<i>Malus domestica</i> Borkh cv. Golden Delicious) ve Trabzon hurması (<i>Diospyros kaki</i> Thunb. cv. Rojo Brillante)	(Sapper & ark., 2019)
Okaliptus ve biberiye	Elma (Granny Smith Verona Delizia Verde) ve armut (cv. d' Anjou)	(Xylia & ark., 2021)
Timol, öjenol, 1,8-sineol	Elma (<i>Malus communis</i> var. Golden delicious)	(Karakuş, 2023)

Tablo 4. Uçucu yağların yumuşak çekirdekli meyvelerin muhafazasında kullanıldığı bazı çalışmlar

Uygulanan Uçucu Yağlar/Etken maddeler	Meyve	Araştırmacı(lar)
Aktif paket+Tarçın	Antep fıstığı (<i>Pistacia vera</i> L. cv. Akbari)	(Esfahani & ark., 2020)
Yenilebilir kaplama+Şirazi kekiği	Antep fıstığı (<i>Pistacia vera</i> cv. ‘Ahmad-Aghaei’)	(Hashemi & ark., 2021)
Sivri kekik, tıbbi nane, Anadolu adaçayı	Fındık (<i>Corylus avellana</i> L.)	(Kurnaz, 2024)

Meyvelerde Mikrobiyal Bozulmalara Karşı Uçucu Yağların Kullanılması

Hasat sonrası dönemde meyveler; mekanik zedelenmeler, yüksek nem, uygun sıcaklık koşulları ve fizyolojik stresler nedeniyle mikroorganizmalara karşı oldukça hassas hale gelmektedir. Özellikle fungal patojenler, depolama ve taşıma sürecinde hızla gelişerek önemli kalite kayıplarına yol açmaktadır. Bu patojenlerin neden olduğu bozulmalar yalnızca ürün miktarını azaltmakla kalmamakta, aynı zamanda mikotoksin oluşumu gibi gıda güvenliği açısından ciddi riskler de oluşturmaktadır.

Tarım ürünlerinin hasadından sonra yaygın olarak kullanılan sentetik kimyasallar (örneğin metil bromür, fosfin), fumigasyon yoluyla etkin koruma sağlamaktadır. Bununla birlikte bu maddelerin çevresel etkileri ile uygulayıcı ve tüketici sağlığı açısından oluşturdıkları potansiyel riskler, sürdürülebilirlik açısından ciddi sınırlılıklar doğurmaktadır. Bu nedenle son yıllarda, bitkisel kaynaklı doğal bileşiklerin (uçucu yağlar ve bunların etken maddeleri) meyve muhafazasında kullanımına yönelik araştırmalar artış göstermiştir.

Uçucu yağlar, hasat sonrası dönemde sorun oluşturan pek çok mikrobiyal etmene karşı önemli düzeyde etki göstermektedir.

Örneğin kekik (*Thymus capitatus*) uçucu yağının 250 ppm konsantrasyonda *Botrytis cinerea*, *Alternaria citri*, *Penicillium italicum* ve *Penicillium digitatum* türlerinin gelişimini engelleyebilmektedir (Arras & Usai, 2001). Benzer şekilde kimyon (*Cuminum cyminum* L.), ardıç (*Juniperus communis* L.), nane (*Mentha piperita* L.), okaliptüs (*Eucalyptus* spp.), çörtük (*Echinophora tenuifolia* L.) ve yavşan (*Artemisia* spp.) uçucu yağlarının; *Alternaria mali*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Fusarium oxysporum*, *Botrytis cinerea* ve *Colletotrichum circinans* gibi etmenlerin misel gelişimini baskıladığı bilinmektedir (Koçak & Boyraz, 2006).

Uçucu yağların meyve muhafazasında kullanımının araştırıldığı çalışmalarda daha çok kekik, lavanta, adaçayı, tarçın, limonotu, defne, fesleğen uçucu yağlarının kullanıldığı görülmektedir. Kekik uçucu yağında baskın olarak bulunan karvakrol ve timol, bakteri hücre zarını tahrip ederek hücre içeriğinin dış ortama sızmasına neden olması ve lipofilik özellikleri sayesinde hücre duvarını aşarak hücre içi yapılara ulaşabilmektedir (Helander & ark., 1998). Bu bileşiklerin fungal hücre zarının bütünlüğünü bozması, enzim sistemlerini inhibe etmesi ve hücresel metabolizmayı sekteye uğratması, uçucu yağları sentetik kimyasallara güçlü bir alternatif haline getirmektedir. Aşağıda bazı uçucu yağların antimikrobiyal etki mekanizmaları verilmiştir (Tablo 6).

Tablo 6. Antifungal Etki Gösteren Bazı Uçucu Yağlar, Etken Bileşenleri ve Etki Mekanizmaları

Uçucu Yağ (UY)	Bitki kaynağı	Ana bileşen	Etki mekanizması	Kaynak
Kekik UY	Kekik (<i>Origanum spp.</i>)	Karvakrol, timol	Hücre zarı tahribatı	(Burt, 2004)
Karanfil UY	Karanfil (<i>S. aromaticum</i>)	Öjenol	Enzim inhibisyonu	(Pinto & ark., 2009)
Tarçın UY	Tarçın (<i>Cinnamomum spp.</i>)	Sinnamealdehit	Hücre duvarı bozulması	(Wang & ark., 2018)
Nane UY	Nane (<i>Mentha spp.</i>)	Mentol	Membran geçirgenliği	(Bayaz, 2014)
Adaçayı UY	Adaçayı (<i>Salvia spp.</i>)	Tujon	Spor çimlenmesinin baskılanması	(Bozin & ark., 2007)

Uçucu yağların antimikrobiyal etkileri elde edildikleri bitkinin türüne ve yetiştirme koşullarına, kompozisyonuna, hedef mikroorganizmanın türüne ve yüküne, gıdanın kompozisyonuna, işleme ve depolama koşullarına göre değişkenlik gösterebilir. Ayrıca uçucu yağların uygulanma şekilleri de etkinliklerini değiştirebilmektedir. Sofralık üzüm depolamasında Melek otu (*Angelica archangelica*) uçucu yağının kitosan ile entegre kaplama olarak kullanılması *Botrytis cinerea* gelişimini 30 günlük depolamada önemli oranda (%85) baskılamıştır (Das & ark., 2023). Uçucu yağların salınımı kontrol eden ajanlarla kullanılması etkinliklerinin artırılması noktasında önem taşımaktadır. Ambalajlara emdirilen uçucu yağların, meyvelerin muhafazasında oldukça etkili sonuçlar ortaya çıkardığı görülmüştür. (Espitia & ark., 2012)'nin yapmış oldukları çalışmada kekik, tarçın ve limon otu uçucu yağlarının emdirildiği ambalajlarda muhafaza edilen papaya meyvelerinde mezofilik aerobik bakteriler, maya ve küflerin gelişiminin anlamlı düzeyde azalmış ve meyve kalite kriterleri uçucu yağ uygulamalarından etkilenmemiştir. Çilek meyvelerine pülverize

olarak uygulan kekik (*Thymus vulgaris*), kimyon (*Cuminum cyminum*), nane (*Mentha spicata*), tarçın (*Cinnamomum zeylanicum*) ve çörekotu (*Nigella sativa*) doğal bitkisel uçucu yağları farklı etkiler göstermiştir. Çörekotu ve nane uçucu yağları başta olmak üzere tüm uçucu yağları enfeksiyon gelişimini baskılamıştır. Ancak nane uçucu yağı dışındaki yağlar meyve kalitesini koruması açısından uygun bulunmamıştır (Kasım & ark., 2019).

Aşağıda bazı farklı uçucu yağların ve uygulama şekillerinin antifungal etkileri verilmiştir (Tablo 7).

Tablo 7. Meyve Türlerine Göre Uçucu Yağ Uygulamaları ve Antifungal Etkileri

Uçucu yağ	Uygulanan Meyve	Uygulama	Sonuç	Kaynak
Kekik	Elma	Buhar	<i>P. expansum</i> baskılanması	(Yılmaz, 2012)
Karanfil	Üzüm	Aktif ambalaj	Raf ömrü artışı	(Luesuwan ark., 2021)
Kekik + rezene	Turunçgil	Daldırma	Küf gelişimi azalışı	(Arras & Usai, 2001)

Uçucu Yağların Meyve Kalitesi Üzerine Etkisi

Uçucu yağ uygulamalarının değerlendirilmesinde yalnızca patojen baskılanması değil, aynı zamanda meyve kalite parametrelerinin korunması da dikkate alınmalıdır. Uçucu yağların etkisi çoğunlukla baskın etken bileşen üzerinden açıklanmakla birlikte, doğal uçucu yağ karışımlarında diğer bileşenlerin de sinerjistik etkiler gösterdiği bilinmektedir.

Meyve kalitesinin korunmasına yönelik uçucu yağ uygulamaları üç temel mekanizma üzerinden etki göstermektedir: (i) antimikrobiyal etki ile patojen gelişiminin engellenmesi, (ii) antioksidan etki ile oksidatif stresin ve lipid peroksidasyonunun azaltılması ve (iii) bitkinin savunma mekanizmalarının desteklenmesi yoluyla antioksidan enzim aktivitelerinin artırılması. Ayrıca uçucu yağlar solunumu baskılayarak hücresel yıkımı

yavaşlatarak fizyolojik yaşılanmanın geciktirilmesine katkı sağlamaktadır (Alkın & ark., 2022).

Sofralık üzümde hasat sonrası önemli kayıplara yol açan *Botrytis cinerea* ile mücadelede uçucu yağlar etkili bulunmuştur. (Marandi & ark., 2011), tatlı fesleğen, rezene, yaz çakşırı ve kekik uçucu yağlarının *B. cinerea*'nın misel büyümesini güçlü bir şekilde engellediğini rapor etmiştir. Özellikle kekik ve yaz çakşırı yağları, 60 günlük depolama süresinin sonunda çürümeyi azaltmış, kütle kaybı, tane büzülmesi ve kahverengileşme gibi kalite düşüşlerini önlemiştir (Ali & ark., 2010).

Kozak Siyahı üzüm çeşidinde ise mentol ve timolün gazlı beze emdirilerek modifiye atmosferde (MAP) kullanımı incelenmiştir. Çelik vd. (2011), mentol ve timol uygulamalarının, 90 günlük soğuk depolama (0-1°C) süresince kontrol grubuna göre daha iyi sonuçlar verdiğini ve toplam fenolik bileşik, tanen ve antosiyanin miktarlarını koruduğunu bildirmiştir.

Alkın & ark. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada, 'Anet 55' şeftali çeşidinde uçucu yağ emdirilmiş MAP torbalarının, meyvelerin 0-1°C'de 60 gün depolanmasında kalite özelliklerinin korunmasına olumlu etkileri olduğu tespit edilmiştir.

Kayısıda (*Prunus armeniaca* L.) yapılan bir diğer araştırmada, lavanta uçucu yağı uygulamasının, metil jasmonate (MeJa) ve sitokinin gibi bitki büyüme düzenleyicileri ile kombinasyon halinde kullanılması denenmiştir. Uygulamaların kontrol grubuna göre daha iyi sonuç verdiği ve MeJA (0.2 mM) + lavanta uçucu yağı (1000 ppm) uygulamasının ürün kalitesini 35 gün boyunca koruduğu tespit edilmiştir (Çavuşoğlu & ark., 2020).

Tropikal meyvelerden Embul muzunu çeşidinde (*Musa sapientum*), *Cymbopogon nardus* (Seylan limonu), *Cymbopogon flexuosus* (Hint limonu) ve *Ocimum basilicum* (Fesleğen) uçucu yağlarının püskürtme şeklinde uygulanması, hasat sonrası

hastalıkların kontrolünde ve depolama ömrünün uzatılmasında etkili bir yöntem olarak belirlenmiştir (Anthony & ark., 2003).

Yenilebilir film ve kaplamalar, meyve ve sebzelerin yüzeyinde oluşturulan ince bir bariyer tabakasıdır. Bu tabaka, ürünleri fiziksel ve kimyasal etkilerden koruyarak su kaybını, solunum hızını ve gaz transferini kontrol etmeye yardımcı olur. Bitkisel kaynaklı materyallerden de üretilen bu kaplamalar, ürün kalitesini koruma, mikrobiyal bozulmayı yavaşlatma ve raf ömrünü uzatma potansiyeline sahip çevre dostu ve ekonomik bir yöntemdir.

Uçucu yağların yenilebilir film kaplamalarla birlikte kullanılması etkinliklerini arttırmaktadır. Örneğin, çilek meyvesinin depolanabilirliğini artırmak amacıyla yapılan bir çalışmada, timol veya kalsiyum klorür gibi bileşikler yenilebilir kaplama ile birlikte kullanılmıştır. Kekik uçucu yağının kaplama materyali ile birlikte kullanımının kontrol grubuna kıyasla çilekte meyve kalite kriterlerinin korunmasında etkili olduğu görülmüştür (Amal & ark., 2010).

Uçucu Yağların Meyve Muhafazasında Kullanımı ile İlgili Mevzuat

Uçucu yağların hasat sonrası meyve muhafazasında kullanımının yaygınlaşmasında yalnızca teknik etkinlik değil, aynı zamanda mevzuata uygunluk ve ticarileşme potansiyeli de belirleyici rol oynamaktadır.

Avrupa Birliği'nde uçucu yağlar; kullanım amacına bağlı olarak “gıda katkı maddesi”, “aroma verici”, “bitki koruma ürünü” veya “biyosidal ürün” kapsamında değerlendirilebilmektedir. Hasat sonrası uygulamalarda uçucu yağların doğrudan fungusit amacıyla kullanımı, Bitki Koruma Ürünleri Tüzüğü (EC No 1107/2009) kapsamında ele alınmaktadır. Bu düzenleme, aktif maddelerin insan sağlığı ve çevre açısından risk değerlendirmesinden geçirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Bununla birlikte birçok uçucu yağ bileşeni (örneğin timol, öjenol ve mentol), Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) tarafından aroma verici madde olarak genel anlamda güvenli (GRAS benzeri) kabul edilmektedir. Ancak uygulamalarda doz, kalıntı ve uygulayan kişilerin bu ürünlere maruz kalacakları süre ve doz ile ilgili kriterler önem kazanmaktadır. Son yıllarda AB’de biyopestisit ve düşük riskli aktif madde tanımı altında uçucu yağların ruhsatlandırılmasına yönelik eğilim artmaktadır.

Türkiye’de özellikle organik tarım ve iyi tarım uygulamaları kapsamında doğal kökenli ürünlere olan ilginin artması, uçucu yağların ticarileşmesi açısından önemli bir fırsat sunmaktadır. Ancak bu sürecin hızlanabilmesi için bilimsel etkinlik çalışmalarının yanı sıra kalıntı, toksisite ve standardizasyon verilerinin mevzuatla uyumlu şekilde sunulması gerekmektedir.

Ticarileşme Potansiyeli

Uçucu yağların ticarileşmesinde karşılaşılan başlıca zorluklar; üretim maliyeti, kimyasal bileşimdeki varyasyonlar ve uygulama teknolojilerinin optimizasyonudur. Buna karşın aktif ambalaj, kontrollü salınım sistemleri ve yenilebilir kaplamalar ile entegrasyon, uçucu yağların sanayi ölçeğinde kullanımını daha uygulanabilir hale getirebilir.

Uçucu yağların hasat sonrası muhafazada kullanımı, çok sayıda avantaj sunmakla birlikte bazı sınırlılık ve riskleri de beraberinde getirmektedir.

Uçucu yağların en önemli avantajı, doğal ve biyolojik olarak parçalanabilir olmalarıdır. Sentetik fungusitlere kıyasla çevresel kalıntı riski düşüktür ve çoklu etki mekanizmaları sayesinde patojenlerde direnç gelişimi olasılığı daha sınırlıdır. Ayrıca bazı uçucu yağlar meyvelerin antioksidan kapasitesini artırarak kaliteyi koruyucu etki de göstermektedir.

Uçucu yağların uygulamasında karşılaşılan temel sınırlar arasında yüksek uçuculuk, ısı ve sıcaklığa duyarlılık ile kimyasal bileşimdeki doğal varyasyonlar yer almaktadır. Aynı bitki türünden elde edilen uçucu yağların dahi coğrafi köken, hasat zamanı ve ekstraksiyon yöntemine bağlı olarak farklı bileşimler göstermesi, standart doz belirlenmesini zorlaştırmaktadır.

Yüksek dozlarda uygulanan uçucu yağlar fitotoksik etki gösterebilmekte, meyvelerde aroma ve tat bozulmalarına yol açabilmektedir. Ayrıca tüketici duyuşsal kabulü, özellikle güçlü aromaya sahip yağlarda sınırlayıcı bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle uygulamalarda optimal dozun belirlenmesi ve kontrollü salınım sistemlerinin tercih edilmesi büyük önem taşımaktadır.

Değerlendirme ve Gelecek Perspektifi

Genel olarak değerlendirildiğinde, uçucu yağların hasat sonrası meyve muhafazasında doğal, çevre dostu ve sürdürülebilir bir alternatif sunduğu görülmektedir. Mevzuat uyumu, standardizasyon ve ekonomik fizibiliteye yönelik çalışmaların artmasıyla birlikte, bu bileşiklerin ticari uygulamalarda daha yaygın biçimde kullanılması beklenmektedir.

Gelecekte yapılacak araştırmaların; çok bileşenli uçucu yağ kombinasyonları, kontrollü salınım ve nanoenkapsülasyon teknolojileri ile meyve türüne özgü uygulama protokolleri üzerine yoğunlaşması, uçucu yağların hasat sonrası teknolojilerdeki yerini daha da güçlendirecektir

Kaynakça

- Ali, A., Abbas, H., Youbert, G., Iraj, B., & Mohammad H., M. (2010). Study on the potential use of essential oils for decay control and quality preservation of tabarzeh table grape. *Journal of Plant Protection Research*, 50(1), 45-52.
- Alkın, G., Şeker, M., & Kaynaş, K. (2022). Anet 55 Şeftali Çeşidinin Depolanmasında Uçucu Yağ Emdirilmiş Modifiye Atmosfer Paketlemenin Kalite Özelliklerine Etkileri. *International Journal of Innovative Approaches in Science Research*, 6(2), 79-93.
- Amal, S., El-Moggy, M., Aboul-Anean, H., & Alsanius, B. (2010). Improving Strawberry Fruit Storability by Edible Coating. *Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants*, 2(3), 88-97.
- Anthony, S., Abeywickrama, K., & Wijeratnam, S. (2003). The effect of spraying essential oils of *Cymbopogon nardus*, *Cymbopogon flexuosus* and *Ocimum basilicum* on postharvest diseases and storage life of Embul banana. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 78(6), 780-785.
- Arras, G., & Usai, M. (2001). Fungitoxic Activity of 12 Essential Oils against Four Postharvest Citrus Pathogens: Chemical Analysis of *Thymus capitatus* Oil and its Effect in Subatmospheric Pressure Conditions. *Journal of food protection*, 64, 1025-1029.
- Bayaz, M. (2014). Esansiyel yağlar: antimikrobiyal, antioksidan ve antimutajenik aktiviteleri. *Akademik Gıda*, 12(3), 45-53.
- Bozin, B., Mimica-DukiWangc, N., Samojilik, I., & Jovin, E. (2007). Antimicrobial and antioxidant properties of rosemary and

- sage (*Rosmarinus officinalis* L. and *Salvia officinalis* L., Lamiaceae) essential oils. *J Agric Food Chem.*, 55(19), 7879-7885.
- Burt, S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods--a review. *Int J Food Microbiol.*, 94(3), 223-253.
- Çavuşoğlu, Ş., İşlek, F., & Yılmaz, N. (2020). Kayısıda (*Prunus armeniaca* L.) Metil Jasmonate, Sitokinin ve Lavanta Yağı Uygulamalarının Hasat Sonrası Fizyolojisi Üzerine Etkileri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 30, 136-146.
- Çelik, E., Bal, E., Kök, D., & Çelik, S. (2011). Kozak Siyahı Üzüm Çeşidi Üzerine Hasat Sonrası Bazı Uygulamaların Etkisi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8(2), 65-76.
- Das, S., Chaudhari, A., Singh, V., Dwivedy, A., & Dubey, N. (2023). *Angelica archangelica* essential oil loaded chitosan nanoemulsion as edible coating for preservation of table grape fruit against *Botrytis cinerea* contamination and storage quality deterioration. *Postharvest Biology and Technology*, 205, 112482.
- Esfahani, A., Ehsani, M., Mizani, M., & Mohammadi Nafchi, A. (2020). Application of bio-nanocomposite films based on nano-TiO₂ and cinnamon essential oil to improve the physiochemical, sensory, and microbial properties of fresh pistachio. *Journal of Nuts*, 11(3), 195-212.
- Espitia, P., Soares, N., Botti, L., Melo, N., & Pereira, O. (2012). Assessment of the efficiency of essential oils in the preservation of postharvest papaya in an antimicrobial packaging system. *Brazilian Journal of Food Technology*, 15(4), 307-316.

- Göksel, Z., & Aksoy, U. (2017). Bazı Kiraz Çeşitlerinde Uygulanan Ön İşlemlerin Depolama Süresince Epikateşin ve Klorojenik Asit Miktarına Etkileri. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6, 207-214.
- Guerra, I., Oliveira, P., Santos, M., & Lucio, A. (2016). The effects of composite coatings containing chitosan and *Mentha piperita* L. or *x villosa* Huds) essential oil on postharvest mold occurrence and quality of table grape cv. Isabella. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 34, 112-121.
- Guerreiro, A., Gago, C., & Faleiro, M. (2015). The use of polysaccharide-based edible coatings enriched with essential oils to improve shelf-life of strawberries. *Postharvest Biology and Technology*, 110, 51-60.
- Guillen, F., Zapata, P., Martinez-Romero, D., Castillo, S., & Serrano, M. (2007). Improvement of the overall quality of table grapes stored under modified atmosphere packaging in combination with natural antimicrobial compounds. *J Food Sci.*, 72(3), 185-190.
- Hashemi, M., Dastjerdi, A., Shakerardekani, A., & Mirdeghan, A. (2021). Effect of alginate coating enriched with Shirazi thyme essential oil on quality of the fresh pistachio (*Pistacia vera* L.). *Journal of food science and technology*, 58(1), 34-43.
- Helander, I., Alakomi, H., & Latva-Kala, K. (1998). Characterization of the Action of Selected Essential Oil Components on Gram-Negative Bacteria. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(9), 3590-3595.

- Karakuş, S. (2023). Hasat sonrası uygulanan bazı uçucu yağların elmalarda botrytis cinerea ve meyve besin içeriğine etkisi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 10(3), 583-590.
- Kasım, M., Yılmaz, F., Koşumcu, S., & Kasım, R. (2019). Çilekte (*Fragaria x ananassa* Duch.) Hasat Sonrası Enfeksiyon ve Kalite Üzerine Bazı Uçucu Yağların Etkisi. *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1), 27-35.
- Koçak, R., & Boyraz, N. (2006). Bazı bitki uçucu yağlarının fungisit ve fungistatik etkileri. *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(38), 76-81.
- Kurnaz, G. (2024). *Depolama Öncesi Uygulanan Bazı Uçucu Yağların Natürel İç Fındığın Muhafaza Kalitesi Üzerine Etkileri*. Ordu: Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri ABD.
- Luesuwan, S., Naradisorn, M., Shiekh, K., Rachtanapun, P., & Tongdeesoontorn, W. (2021). Effect of Active Packaging Material Fortified with Clove Essential Oil on Fungal Growth and Post-Harvest Quality Changes in Table Grape during Cold Storage. *Polymers (Basel)*, 13(19), 3445.
- Marandi, R. J. (2011). Control of *Penicillium expansum* and *Botrytis cinerea* on pear with *Thymus kotschyanus*, *Ocimum basilicum* and *Rosmarinus officinalis* essential oils. *J Med Plants Res.*, 5(4), 626-634.
- Marandi, R., Hassani, A., Ghosta, Y., Abdollahi, A., Pirzad, A., & Sefidkon, F. (2011). Control of *Penicillium expansum* and *Botrytis cinerea* on pear with *Thymus kotschyanus*, *Ocimum basilicum* and *Rosmarinus officinalis* essential oils. *J Med Plants Res*, 5(4), 626-634.

- Mirdeghan, S., Pirzad, F., Pireh, S., Hashemi, M., & Valero, D. (2023). Impact of Menthol and Thymol in Combination with Modified Atmosphere Packaging for the Safety and Quality Retention of Apricot Fruits during Cold Storage. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 10(4), 513-522.
- Pinto, E., Vale-Silva, L., Cavaleiro, C., & Salgueiro, L. (2009). Antifungal activity of the clove essential oil from *Syzygium aromaticum* on *Candida*, *Aspergillus* and dermatophyte species. *J Med Microbiol.*, 58(11), 1454-1462.
- Sapper, M., Palou, L., Perez-Gago, M., & Chiralt, A. (2019). Antifungal Starch–Gellan Edible Coatings with Thyme Essential Oil for the Postharvest Preservation of Apple and Persimmon. *Coatings*, 9(5), 333.
- Sellamuthu, P., Mafune, M., Sivakumar, D., & Soundy, P. (2013a). Thyme oil vapour and modified atmosphere packaging reduce anthracnose incidence and maintain fruit quality in avocado. *J Sci Food Agric.*, 93(12), 3024-3031.
- Sellamuthu, P., Sivakumar, D., Soundy, P., & Korsten, L. (2013b). Essential oil vapours suppress the development of anthracnose and enhance defence related and antioxidant enzyme activities in avocado fruit,. *Postharvest Biology and Technology*, 81, 66-72.
- Serrano, M. M.-R., Serrano, M., Martinez-Romero, D., Castillo, S., Guillen, F., & Valero, D. (2005). The use of natural antifungal compounds improves the beneficial effect of MAP in sweet cherry storage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 6(1), 115-123.
- Sharafi, Y., Rabiei, V., Shirzadeh, E., & Ribbiangourani, H. (2011). Effect of thyme and lavender essential oils on the qualitative

and quantitative traits and storage life of apple ‘Jonagold’ cultivar. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(23), 5522-5527.

- Siroli, L., Patrignani, F., Serrazanetti, D., Tabanelli, G., Montanari, C., Tappi, S., . . . Lanciotti, R. (2014). Efficacy of natural antimicrobials to prolong the shelf-life of minimally processed apples packaged in modified atmosphere. *Food Control*, 46, 403-411.
- Şener, S., Doğan, A., Duran, C., Kurt, Z., & Erkan, M. (2022). Hasat Öncesi Farklı Uçucu Yağ Uygulamalarının ‘Rubygem’ Çilek Çeşidinin Muhafazası Üzerine Etkileri. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 10(2), 395-404.
- Valero, D., Valverde, J., Martinez-Romero, D., Guillen, F., Castillo, S., & Serrano, M. (2006). The combination of modified atmosphere packaging with eugenol or thymol to maintain quality, safety and functional properties of table grapes. *Postharvest Biology and Technology*, 41(3), 317-327.
- ValizadehKaji, B., & Fakhri, N. (2023). Postharvest application of Aloe vera gel and thymol enhances shelf-life of duke cherries via altering physiochemical parameters. *Chem. Biol. Technol. Agric.*, 10, 85.
- Valverde, J., Guillen, F., Martinez-Romero, D., Castillo, S., Serrano, M., & Valero, D. (2005). Improvement of table grapes quality and safety by the combination of modified atmosphere packaging (MAP) and eugenol, menthol, or thymol. *J Agric Food Chem.*, 53(19), 7458-7464.
- Wang, C., Wang, S., Yin, J., & Parry, J. (2007). Enhancing Antioxidant, Antiproliferation, and Free Radical Scavenging Activities in Strawberries with Essential Oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(16), 6527-6532.

- Wang, Y., Zang, Y., Shi, Y., Pan, X., Lu, Y., & Cao, P. (2018). Antibacterial effects of cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*) bark essential oil on *Porphyromonas gingivalis*. *Microb Pathog.*, 116, 26-32.
- Wang., C. (2003). Maintaining postharvest quality of raspberries with natural volatile compounds. *International Journal of Food Science and Technology*, 38, 869-875.
- Xingfeng, S., Wang, H., Xu, F., & Cheng, S. (2013). Effects and possible mechanisms of tea tree oil vapor treatment on the main disease in postharvest strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 77, 94-101.
- Xylia, P., Chrysargyris, A., Ahmed, Z., & Tzortzakis, N. (2021). Application of Rosemary and Eucalyptus Essential Oils and Their Main Component on the Preservation of Apple and Pear Fruits. *Horticulturae*, 7, 479.
- Yaşar, K. (2018). *Hasat sonrası uygulanan ozon gazı ve kimyon (Carum carvi L.) uçucu yağının kivi (Actinidia deliciosa L.) meyve ve muhafaza kalitesi üzerine etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Yetiştirme ve Islahı ABD.
- Yılmaz, A. (2012). *Bazı bitki uçucu yağlarının hasat sonrası fungal meyve çürüklüğü etmenlerine karşı in Sellamuvitro ve in vivo etkilerinin araştırılması*. Doktora Tezi, . Konya.: Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitki Koruma Anabilim Dalı, .
- Zaika, L. (1998). Spices and Herbs: Their Antimicrobial Activity. *Journal of Food Safety*, 9, 97-118.

CHAPTER 4

THE EFFECT OF DIFFERENT PLANT DENSITIES ON ORGANIC CUCUMBER CULTIVATION IN GREENHOUSE¹

1. ANDAÇ KUTAY SAKA²

2. SEZGİN UZUN³

Introduction

Greenhouse vegetable production is of great importance for growing crops throughout the year, both in terms of meeting national vegetable needs and gaining a foothold in foreign markets. In recent years, with the increase in population and the emergence of food

¹ This study was supported by Ondokuz Mayıs University Project Management Office, project number PYO.ZRT.1904.10.025, presented oral at ICELIS 2018 in Kastamonu, and published as an abstract. Furthermore, this study consists of part of the first author's master's thesis.

² Assistant Professor, Ordu University, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture, Ordu, Türkiye

Orcid: 0000-0001-5550-1978

³ Prof. Dr., Ondokuz Mayıs University, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture, Samsun, Türkiye

shortages, the need to make food sources sustainable has become an important issue.

The cucumber plant is one of the three main vegetables widely grown in greenhouses worldwide and is a plant of great economic value in agricultural production (Han et al., 2012). Among the vegetables grown in our country, cucumber ranks among the top in terms of production value, with approximately 1.9 million tons produced on 35.278 hectares in 2023. World production in the same year was reported to be approximately 98 million tons (FAO, 2023).

Limitations in water and soil resources in open-field vegetable production, limited control of climatic and biological factors, may mean that protected cultivation could be an alternative for the production of some foods. The production unit, the area planted, is a factor in determining the optimal use of inputs (Khoram and Mohamady, 2021). For these reasons, protected vegetable cultivation has gained great importance in recent years. Furthermore, cucumber yields under protected cultivation conditions can be increased many times over compared to open field cultivation (Singh et al., 2017). The main problems encountered in organic vegetable cultivation are the difficulties in controlling weeds and managing diseases and pests. For this reason, protective measures in greenhouse cultivation must be well planned from the seed sowing period to harvest. Factors such as environmental conditions, structural characteristics of greenhouses, greenhouse cover type, location and orientation of greenhouses, shading and characteristics of shading materials, cultivation sites, mulching, and the use of proper irrigation systems must be taken into account (Özer, 2012; Özer and Uzun, 2013; Uzun et al., 2013). In greenhouse cucumber cultivation, plant density is one of the critical agricultural factors that determine both the quantity and quality of the product (Ayala-Tafuya et al., 2019). Plant density is defined as the number of plants per unit area and is directly related to productivity.

Increasing plant density generally increases total yield per unit area (Peil and Gálvez, 2004; Mendoza-Pérez et al., 2018; Ayala-Tafoya et al., 2019). One study observed that increasing density from 2.24 to 4.48 plants m⁻² increased product yield by 69% (Parks et al., 2019). However, while increasing plant density has a positive effect on the total amount of product obtained per unit area, individual leaf health and fruit quality are generally optimized at lower densities.

In both protected and open-field vegetable cultivation, cultural practices are as important as environmental factors. In this context, when planning production, planting systems and spacing must be carefully reviewed, taking into account potential problems caused by weeds and moisture. In greenhouse cultivation, the occurrence of fungal and bacterial diseases in cucumber plants, depending on the relative humidity inside the greenhouse and whether the light used during the growth and development periods of the plants is sufficient, causes a significant decrease in yield and quality (Zhu et al., 2016; Sun et al., 2021).

Throughout the plant cultivation period, fungal diseases caused by high humidity and the increased presence of microorganisms causing diseases in the greenhouse negatively affect plant growth and development, leading to a decrease in yield. It is possible to prevent humidity in the greenhouse from negatively affecting cultivation by adjusting planting distances. Studies have shown that under conditions of low plant density, an increase in light intercepted by plant leaves leads to an increase in fruit number and yield (Verheul, 2012).

The study aimed to investigate the effects of different planting systems and planting distances used in organic cucumber cultivation in greenhouses on certain leaf characteristics and yield values, thereby determining the appropriate planting systems and plant density for practical application.

Material and Methods

The study was conducted in two greenhouses belonging to the Faculty of Agriculture at Ondokuz Mayıs University. The greenhouses where the research was carried out were 6 m wide, 20 m long (120 m²), and 3 m high. They were covered with PE plastic film (containing AF: antifog, AV: antiviral, IR: infrared, and UV: ultraviolet additives) and featured a semi-arch roof design with continuous ridge ventilation (Figure 1).

Figure 1 A view of the greenhouse where the research was conducted



Raised beds (ridges) were utilized as planting sites, with four beds, each 1 m wide and 18 m long, established in each greenhouse. After installing drip irrigation pipes, the planting sites were prepared by covering the beds with a mulch material that was 1.30 m wide, 0.03 mm thick, black on the underside, and silver on the upper surface. The 'Sinbad F1' variety, which is suitable for regional cultivation, early maturing, and ideal for spring greenhouse production, was used as the plant material. This variety is a parthenocarpic cultivar characterized by high fruit quality, firmness, suitability for storage and transport, high yield, and regular fruit set.

Methods

The research was conducted as early-season cucumber cultivation in accordance with organic farming procedures and regulations.

Seeds were sown in 28-cell plug trays with cell dimensions of 7 x 7 cm. A seedling growth medium consisting of a mixture of soil and farmyard manure (1:2 ratio) was used as the substrate. Seedlings were grown in plug trays in a glass greenhouse until the time of transplanting (the four true-leaf stage).

Following the preparation of the soil, 80 liters of farmyard manure consisting of well-rotted cow and sheep manure—and Biofarm commercial organic fertilizer (at a rate of 250 kg da⁻¹) were incorporated into the raised beds. Irrigation was monitored daily and performed during the early morning and the cool hours of the evening. For fertilization, compost tea (Biofarm) was applied weekly at a rate of 0.25 ml solution per plant. Pruning and monitoring for pests and diseases were conducted daily throughout the growing period.

Planting Systems and Planting Densities

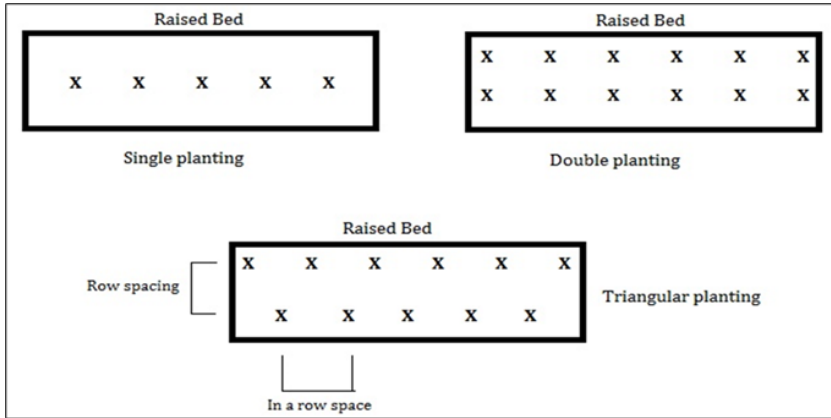
In the study, cucumber transplanting was carried out according to the planned planting systems: single-row, double-row, and triangular planting. Three different plant densities were used for the double-row and triangular planting treatments, while two different plant densities were applied for the single-row planting treatment (Table 1).

Table 1 Planting systems, planting spacings and plant densities

Planting system	Between row (cm)		In a row (cm)	Plant Density (plant m ⁻²)	Treatment
	Wide row	Row spacing			
Double row*	110	40	50	2.67	D3
Single row	150	-	40	1.67	S1
Triangular row	110	40	80	1.93	T3
Triangular row	110	40	65	2.37	T2
Triangular row	110	40	50	3.09	T1
Double row	110	40	65	2.38	D1
Double row	110	40	80	2.05	D2
Single row	150	-	60	1.11	S2
*Control					

For the control treatment, double-row planting a method widely preferred in greenhouse tomato cultivation was selected, with row spacing and in a row spacings of 40x50 cm. Once the cucumber seedlings reached the four-leaf stage, they were transplanted in accordance with eight different planting patterns (Figure 1).

Figure 1 The appearance of the planting systems used in the research



Traits Examined in the Research

In the cucumber plants examined in the research, measurements were taken at 20 day intervals starting from planting. Leaf chlorophyll content was determined as the chlorophyll concentration index (cci) in the leaves using a chlorophyll meter (CCM-200, Opti-Sciences, USA) in the early morning hours on old, medium, and young leaves of the cucumber plants. Stomatal conductance was measured as $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ between 09:00-11:00 in the morning using a porometer (SC-1, Decagon Devices, USA) on young, medium, and old leaves of the cucumber plants. Leaf area was determined using a leaf area estimation model (Uzçelik-I) through linear measurements on young and old leaves of the cucumber plant.

The estimated leaf area was determined with the help of the relevant formula by measuring the leaf blade length (LL) and the distance between the two widest points of the leaf blade (W) on the plant leaves (Uzun and Çelik, 1998).

$$YA = -114,43 - 7,31 * LL/W * PS + 0,651 * W^2 + 210,86 * LL/W$$

Yield per plant and total yield values were calculated as yield values. The total yield values of cucumber fruits harvested from the first harvest to the last harvest date were divided by the number of plants to determine the yield per plant value in kg. The total yield value was obtained by calculating the equivalent per decare of the value obtained from harvests made throughout all harvest periods.

Statistical Analysis

The research was established according to a split-plot experimental design with 3 replications and 6 plants in each replication. Microsoft Excel program was used to create graphs based on the data obtained from the study, and SPSS (IBM, version 17.0, USA) statistical analysis program was used for data evaluation. The differences between the means obtained from the applications were determined by Duncan's multiple comparison test.

Results and Discussion

The means according to the planting densities determined by different planting systems and planting pattern applications examined in the study, and the grouping based on the differences between the means are given in Table 2.

Table 2 The effects of different plant densities on chlorophyll content, leaf stomatal conductance, average leaf area, yield per plant, and total yield in cucumber plants

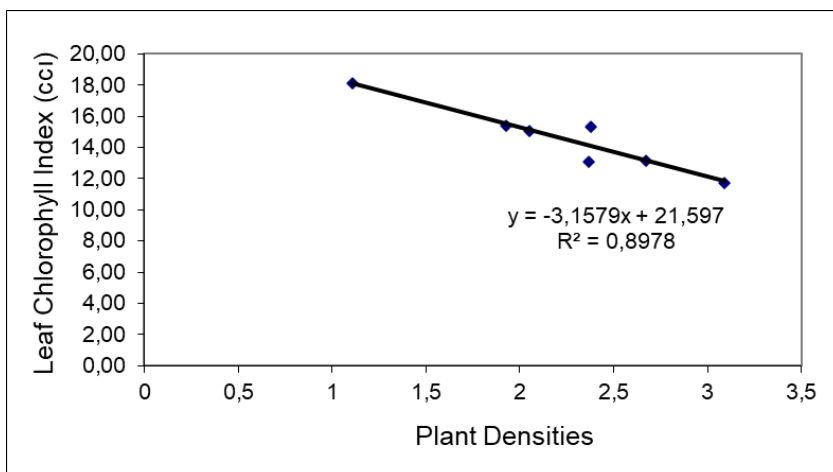
Treatment	LCI (SPAD)	LSC (mmol m ⁻² s ⁻¹)	TLA (cm ²)	YPP (kg)	TY (ton da ⁻¹)
D3*	13.1 c	3.17 b	126.93 d	3.34 d	8.91 c
S1	18.6 a	5.81 a	145.59 c	5.32 b	8.86 c
T3	15.4 b	0.64 e	152.73 b	5.59 a	10.76 a
T2	13.1 c	3.99 b	153.93 b	3.64 d	8.62 c
T1	11.7 d	2.39 c	216.60 a	2.50 e	7.71 d
D1	15.3 b	2.14 d	107.64 e	4.04 c	9.61 b
D2	15.0 b	2.28 c	141.33 c	4.32 c	8.85 c
S2	18.1 a	2.14 d	111.53 e	5.38 ab	5.98 e

p<0.05, *Control, LCI: Leaf chlorophyll index, LSC: Leaf stomatal conductance, TLA: Total leaf area, YPP: Yield per plant, TY: Total yield

Leaf Chlorophyll Index (SPAD)

The highest leaf chlorophyll content (18.6 cci) in the cucumber leaves examined in the research was calculated in the S1 application. The lowest leaf chlorophyll content (11.7) was calculated in the leaves of cucumber plants in the T1 application. As plant density increased in cucumber, leaf chlorophyll content showed a linear decrease. The degree of relationship (r^2) between plant density and leaf chlorophyll content was 0.89 (Graph 1).

Graph 1 The relationship between plant density and cucumber leaf chlorophyll content



In organic cucumber cultivation in greenhouses, the relationship between plant density and leaf chlorophyll content aligns with some findings in the literature while showing nuanced differences with others. A study on soybeans indicated that as plant density increases, the leaf chlorophyll (greenness) index tends to decrease due to population pressure and interplant light competition (Moreira et al., 2015).

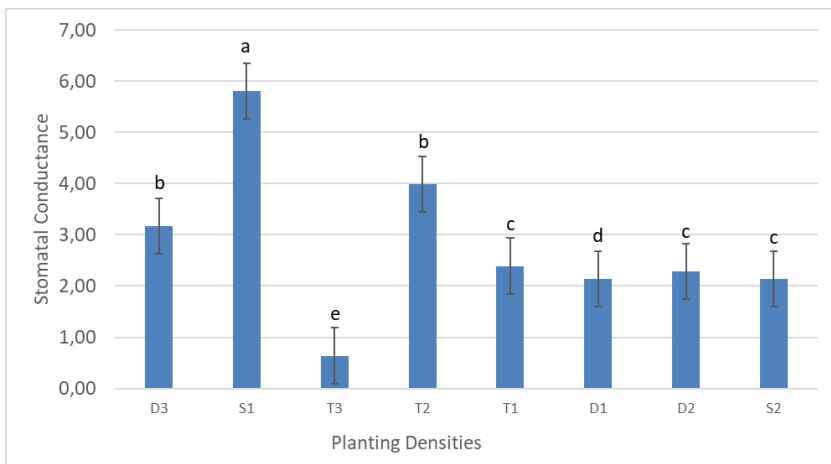
The reduction of photosynthetically active radiation (PAR) reaching the lower leaves in high-density canopies can negatively affect chlorophyll synthesis or persistence (Ribas et al., 2020; Pao et al., 2021). In low-density ($2.25 \text{ plants m}^{-2}$) applications, better light penetration into the middle and lower parts of the canopy is reported to increase chlorophyll content (Pao et al., 2021; Ding et al., 2022). The plant density ($1.67 \text{ plants m}^{-2}$) at which the highest leaf chlorophyll content was obtained in our study is consistent with the findings of Tafoya et al. (2019), who determined the highest SPAD value at a plant density of $1.68 \text{ plants m}^{-2}$. In conclusion, our finding that chlorophyll content decreases as plant density increases was found to be completely consistent with the statement in scientific studies that increasing plant density leads to increased light competition and decreased individual plant performance (dry weight, chlorophyll, etc.) (Diaz et al., 1999; Ayala-Tafoya et al., 2019).

Leaf Stomatal Conductance

The effect of different plant densities on stomatal conductance ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) in cucumber leaves is given in Graph 2. While the highest leaf stomatal conductance ($5.8 \text{ mmol/m}^2\text{s}^{-1}$) in cucumber leaves was observed in the S1 application, the lowest leaf stomatal conductance ($0.6 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) was recorded in the leaves of cucumber plants in the T3 application. Stomatal conductance is directly affected by microclimatic factors such as light, temperature,

and CO₂ concentration (Grantz and Zeiger, 1986). Additionally, high light intensity generally increases stomatal conductance (Bakker et al., 1991). Sparser plant placement provides better airflow within the canopy (Ortiz et al., 2009). Previous studies indicate that high air exchange rates and appropriate moisture balance help maintain stomatal conductance; otherwise, stomata begin to close to prevent water stress (Choudhury and Monteith, 1986).

Graph 2 The effect of different plant densities on cucumber leaf stomatal conductance



Stomata play a vital role in the balance between water loss and photosynthesis efficiency. Environmental factors, particularly light and CO₂, play an important role in this balance. Environmental factors transmit systemic signals, and mature leaves perceive these signals better. While increased light quantity increases stomatal movements, high CO₂ concentration decreases stomatal movements. Additionally, increased humidity also reduces stomatal movements (Casson and Gray, 2008). Approximately 85-90% of water loss in plants occurs through stomata. Therefore, it is necessary to know the numbers and structures of stomata found in the leaves of each crop plant. Stomata are organs that regulate transpiration and are also gateways that enable gas exchange between the plant's internal

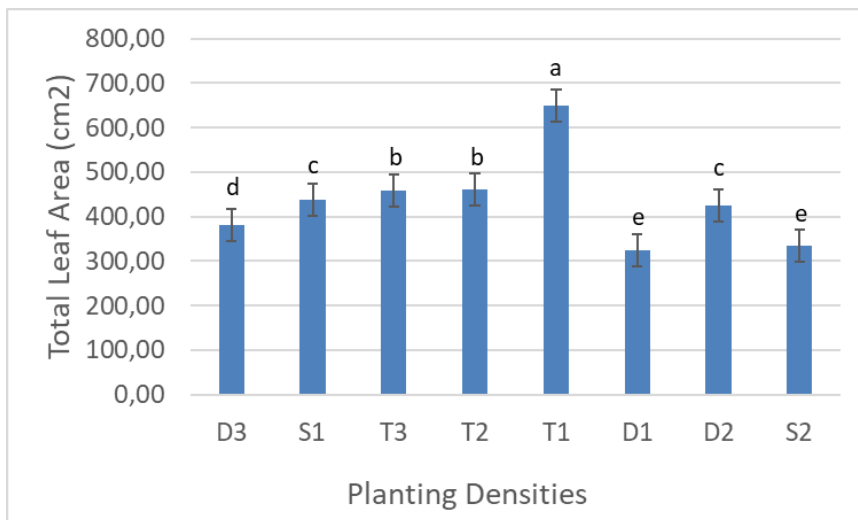
tissues and the external environment. Stomata regulate transpiration by opening and closing according to various conditions. In this way, plants continue their lives without experiencing excessive water loss (Dickison, 2000).

In applications with higher plant density such as T3, limitations in the amount of water per plant or competition in the root zone may have created a physiological response aimed at preventing the plant from losing water by reducing stomatal conductance. The obtained findings reveal that plant physiology is suppressed as plant density increases and are consistent with findings from previous studies.

Leaf Area

In the study, the effects of different planting densities on leaf area in organic cucumber were examined. When the leaf areas obtained from measurements made on cucumber leaves were examined, the largest area was calculated as 285.5 cm² for lower leaves in T1, 218.1 cm² for middle leaves in T1, and 185.5 cm² for upper leaves in S1 plants. When looking at the smallest areas, the D1 application appears with 80.4 cm² in lower leaves, S2 with 81.1 cm² in middle leaves, and D3 with 116.2 cm² in upper leaves. While lower leaf area values were obtained in lower leaves, middle and upper leaves had higher leaf area values compared to lower leaves. When the total leaf area values calculated based on these three leaf area values were examined, the T1 application was in the statistically significant group compared to other planting applications, while S2 and D1 applications were in the group with the lowest values (Graph 3). The low values in the D1 application reveal that when the number of plants per unit area increases, each plant is able to develop less leaf area (Tafoya et al., 2019). Leaf area determines the plant's capacity to capture light energy, which is important for photosynthesis (Peil et al., 2014).

Graph 3 The effect of different plant densities on cucumber total leaf area

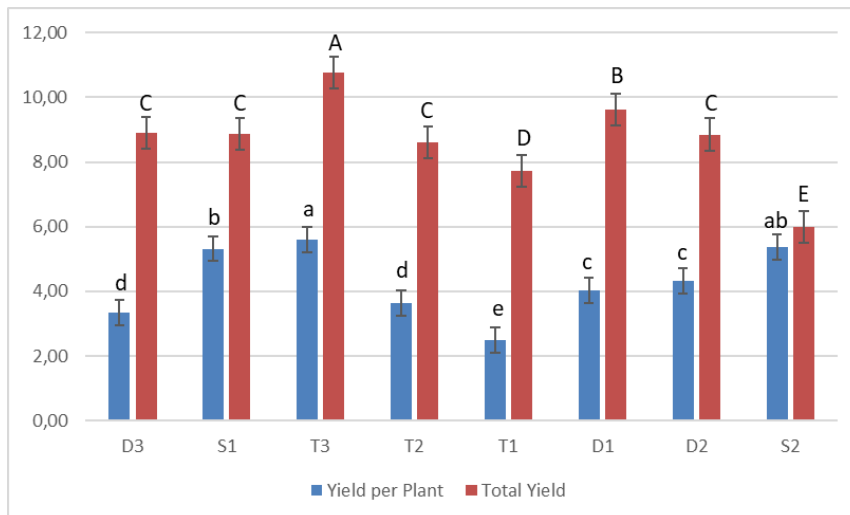


The 216.60 cm² area in T1 may be the point where the plant's light utilization potential is highest. Marcelis et al. (2005) state that a 1% increase in leaf area can provide a 0.7-1% increase in yield. However, when leaves begin to shade each other, the yield increase is not expected to continue. Consequently, at low plant densities, important parameters related to photosynthesis and yield, such as leaf area, are expected to increase (Gomes et al., 2017).

Yield per Plant, Total Yield

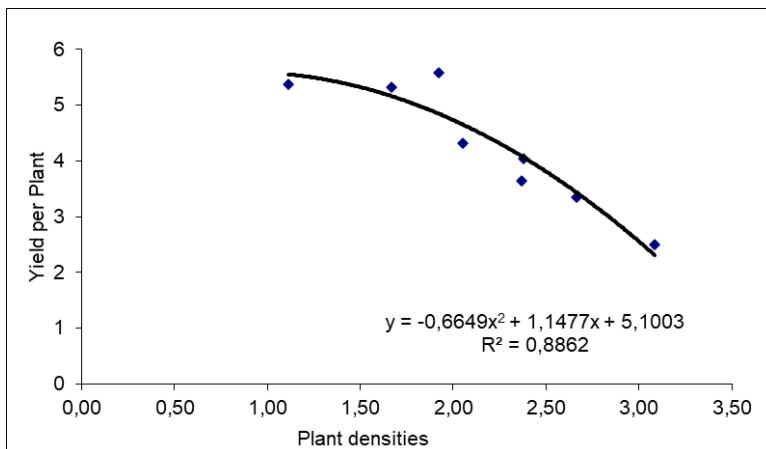
The findings obtained from the study showed that different applications had statistically significant effects on both yield per plant (YPP) and total yield (TY) ($p < 0.05$). The highest yield per plant was obtained in the T3 application with 5.59 kg, and this application showed statistically superior performance compared to all other applications. The yield per plant of the D3 application, which was the control group, was recorded as 3.34 kg. All of the T3, S2, S1, D2, and D1 applications provided higher yield per plant than the control group.

Graph 4 The effect of different plant densities on yield values



The S2 application exhibited the closest performance to T3 with 5.38 kg. The lowest yield per plant value was observed in the T1 application with 2.50 kg. The increase in plant density in cucumber decreased yield per plant in a curvilinear manner. The degree of relationship (r^2) between plant density and yield per plant was 0.88. The total yield results show that area-based production capacity varies significantly according to applications. The T3 application ranked first statistically by achieving the highest value in both yield per plant and total yield with 10.76 tons/da. T3 is followed by the D1 application with a yield of 9.61 tons/da. Total yield in the D3 application, which was the control group, was determined as 8.91 tons/da. The S1 (8.86 tons/da), D2 (8.85 tons/da), and T2 (8.62 tons/da) applications were in the same statistical group as the control group, offering similar yield levels. The application with the lowest total yield was S2 with 5.98 tons/da. The data prove that the T3 application is the most ideal method in terms of both individual plant productivity and total area productivity. It is observed that it provides approximately a 20% increase in total yield compared to the control group (D3) in particular.

Graph 5 The relationship between plant density and cucumber leaf chlorophyll content



Researchers have demonstrated that yield per plant changes with the adjustment of plant density; as plant density increases, yield per plant has increased, thus enabling an increase in total yield. Increasing the number of plants per unit area generally also increases total yield (Echevarria and Castro, 2002; Ganesan et al., 2004; Parks et al., 2019; Tafoya et al., 2019; Kumar et al., 2024).

Doaris et al. (1991), Pearson (1992), and Uzun (1996) discovered in their studies on various species that total yield increased with increasing light intensity. Cocshull et al. (1992) stated that a 1% increase in lighting throughout the growing season increased yield by approximately 1%, and they attributed this yield increase to an increase in average fruit weight. Numerous researchers have indicated that total yield increases with increasing plant density (Papadopoulos and Ormrod, 1991; Echevarria and Castro, 2002; Parks et al., 2019; Tafoya et al., 2019).

In summary, the T3 application has values that constitute a concrete example of yield increase dependent on plant density increase as stated in the literature. It has reached maximum values in both yield per plant and total yield.

Correlations Among the Traits Examined in the Research

In the research, correlation analysis was conducted to reveal the relationships among the characteristics examined in organic cucumber cultivation in the greenhouse. Detailed results of these relationships are given in Table 3. Among the examined characteristics, it was determined that there was a positive and significant correlation relationship at the $p < 0.05$ level between leaf chlorophyll content and yield per plant in cucumber plants (Table 3). This situation proves that the increase in chlorophyll density in the leaf directly increases photosynthetic capacity, thereby elevating fruit weight/number per plant.

Table 3 Correlations among the traits examined in the research

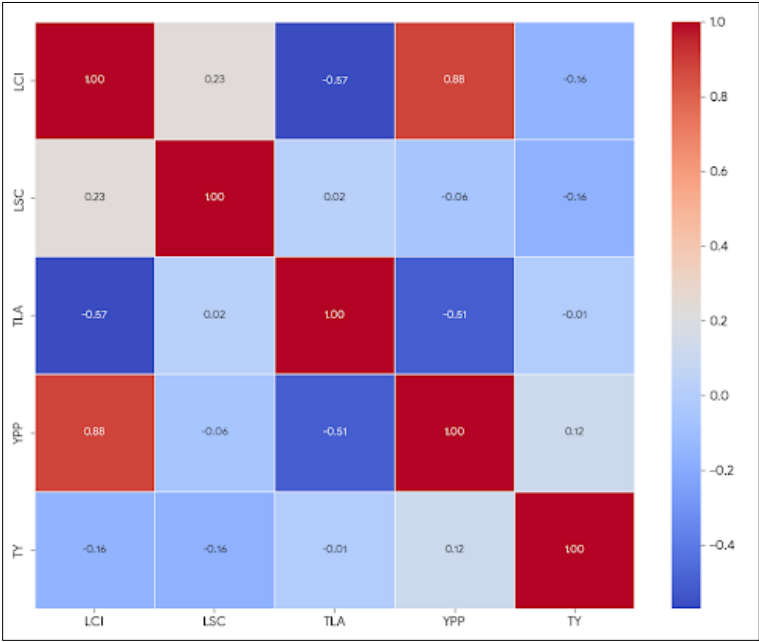
	YPP	TY	LCI	LSC	ALA
YPP	1.00	0.11	0.88*	-0.05	-0.50
TY	0.11	1.00	-0.15	-0.16	-0.00
LCI	0.88*	-0.15	1.00	0.23	-0.57
LSC	-0.05	-0.16	0.23	1.00	0.02
ALA	-0.50	-0.00	-0.57	0.02	1.00

* $p < 0.01$, LCI: Leaf chlorophyll index, LSC: Leaf stomatal conductance, ALA: Average leaf area, YPP: Yield per plant, TY: Total yield

The negative correlation between average leaf area (ALA) and yield (YPP) shows that the plant's expenditure of energy on excessive vegetative growth (leaf area) can suppress yield. The enormous leaves observed especially in the T1 application confirm this negative relationship. The weak correlation between yield per plant and total yield is quite critical. This finding shows that total area productivity depends not only on individual plant performance but also probably on responses to planting density or environmental factors (For example, although yield per plant is high in the S2 application, total yield is low). The fact that stomatal conductance does not show a direct correlation with yield indicates that although plants follow different transpiration strategies, they can achieve similar yields, and that "carbon capture capacity" (LCI) is more determinative than "water loss rate" for yield.

According to the study results, it can be recommended to prefer applications (such as T3) that will keep leaf area (ALA) under control and maximize chlorophyll density (LCI) to increase yield.

Graph 6 Correlation matrix



Conclusion

The study demonstrated that different planting systems and plant densities significantly affected physiological parameters and yield in organic cucumber cultivation under greenhouse conditions. Among the tested applications, the T3 application (triangular row with 2.67 plants/m² density) consistently showed superior performance, with the highest yield per plant and total yield obtained from this application. This application also optimally balanced leaf chlorophyll content and stomatal conductance, providing better photosynthetic efficiency.

Increasing plant density generally increased total yield per area, but tended to reduce individual plant performance indicators such as chlorophyll content and leaf area due to increased intra-plant competition and light limitation. The negative correlation observed between leaf area and yield indicates that excessive vegetative growth can negatively affect fruit production. Additionally, stomatal conductance did not show a strong correlation with yield. This indicates that carbon assimilation capacity (associated with chlorophyll content) is more critical for productivity.

These findings emphasize the importance of selecting appropriate planting systems and densities to optimize light reception, physiological function, and resource allocation in organic cucumber production in greenhouses. The T3 planting system emerges as a promising approach to maximize both individual plant and overall crop productivity. Future cultivation strategies should prioritize balancing plant density to prevent excessive shading and competition while promoting efficient photosynthesis and resource use.

References

- Ayala-Tafoya, F., López-Orona, C. A., Yáñez-Juárez, M. G., Díaz-Valdez, T., Velázquez-Alcaraz, T. D. J., & Parra Delgado, J. M. (2019). Plant density and stem pruning in greenhouse cucumber production. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(1), 79-90.
- Bakker, J. C. (1991). Leaf conductance of four glasshouse vegetable crops as affected by air humidity. *Agricultural and Forest Meteorology*, 55(1-2), 23-36.
- Casson, S., & Gray, J. E. (2008). Influence of environmental factors on stomatal development. *New Phytologist*, 178(1), 9–23.

Choudhury, B. J., & Idso, S. B. (1985). An empirical model for stomatal resistance of field-grown wheat. *Agricultural and Forest Meteorology*, 36(1), 65-82.

Cockshull, K. E., Graves, C. J., & Carol, C. R. J. (1992). The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes. *Journal of Horticultural Science*, 67(1), 11-24.

Díaz, L., Arteaga, L., & Vilorio, A. (1999). Crecimiento vegetativo del pimentón en función de la densidad de plantas y edad del cultivo. *Bioagro*, 11(2), 69-73.

Dickson, W. C. (2000). *Integrative plant anatomy*. California, CA: Academic Press.

Doaris, M., Andre, G., & Trudel, M. J. (1991). Annual greenhouse tomato production under a sequential intercropping system using supplemental light. *Scientia Horticulturae*, 45(3-4), 225-234.

Echevarría, P. H., & Castro, A. R. (2002). Influence of different plant densities on the yield and quality of greenhouse-grown cucumbers grafted on shintzoa (*Cucurbita maxima* x *Cucurbita moschata*). *Acta Horticulturae*, 588, 63-67.

FAO. (2023). FAOSTAT statistical database. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>

Ganesan, M., & Subbiah, V. R. (2004). A case study on increasing tomato productivity in a low cost naturally ventilated greenhouse with different spacing. *Proceedings of Biodiversity Resources Management and Sustainable Use*, 119-122.

Gomes, R. F., Santos, L. S., Marin, M. V., Diniz, G. M., de Oliveira Rabelo, H., & Braz, L. T. (2017). Effect of spacing on mini watermelon hybrids grown in a protected environment. *Australian Journal of Crop Science*, 11(5), 522-527.

Grantz, D. A., & Zeiger, E. (1986). Stomatal responses to light and leaf-air water vapor pressure difference show similar kinetics in sugarcane and soybean. *Plant Physiology*, 81(3), 865-868.

Han, Z., Liu, S. W., Pan, K., & Wu, F. Z. (2012). Effects of cultivation modes on soil enzyme activities and bacterial community structures in the cucumber rhizosphere. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 18, 922–931.

Khorram, M. R., & Ghahderijani, M. (2021). Optimal area under greenhouse cultivation for tomato production. *International Journal of Vegetable Science*, 27(5), 456-460.

Kumar, P., Khapte, P. S., Singh, A., & Saxena, A. (2024). Optimization of low-tech protected structure and irrigation regime for cucumber production under hot arid regions of India. *Plants*, 13(1), 146.

Marcelis, L. F. M., Broekhuijsen, A. G. M., Meinen, E., Nijis, E. M. F. M., & Raaphorst, M. G. M. (2005). Quantification of the growth response to light quantity of greenhouse grown crops. In *V International Symposium on Artificial Lighting in Horticulture*, 711, 97-104.

Mendoza-Pérez, C., Ramírez-Ayala, C., Martínez-Ruiz, A., Rubiños-Panta, J. E., Trejo, C., & Vargas-Orozco, A. G. (2018). Efecto de número de tallos en la producción y calidad de jitomate cultivado en invernadero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(2), 355-366.

Moreira, A., Moraes, L. A. C., Schroth, G., & Mandarino, J. M. G. (2015). Effect of nitrogen, row spacing, and plant density on yield, yield components, and plant physiology in soybean-wheat intercropping. *Agronomy Journal*, 107(6), 2162-2170.

Ortiz Cereceres, J., Sánchez del Castillo, F., Mendoza Castillo, M., & Torres García, A. (2009). Características deseables de plantas de pepino crecidas en invernadero e hidroponía en altas densidades de población. *Revista fitotecnia mexicana*, 32(4), 289-294.

Özer, H. (2012). Organik domates (*Solanum lycopersicum* L.) yetiştiriciliğinde değişik masura, malç tipi ve organik gübrelerin büyüme, gelişme, verim ve kalite üzerine etkileri (Doktora tezi). Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.

Özer, H., & Uzun, S. (2013). Açıkta organik domates (*Solanum lycopersicum* L.) yetiştiriciliğinde farklı organik gübrelerin bazı verim ve kalite parametrelerine etkisi. *Türkiye V. Organik Tarım Sempozyumu*, 25-27.

Pao, Y. C., Kahlen, K., Chen, T. W., Wiechers, D., & Stützel, H. (2021). How does structure matter? Comparison of canopy photosynthesis using one-and three-dimensional light models: a case study using greenhouse cucumber canopies. In *Silico Plants*, 3(2), diab031.

Papadopoulos, A. P., & Ormrod, D. P. (1991). Plant spacing effects on yield of the greenhouse tomato. *Canadian Journal of Plant Science*, 71(2), 565-573.

Parks, S., Spohr, L., Olesen, T., & Jarvis, J. (2019). The effect of environmental control and plant density on cucumber crop performance in Australian conditions. *Fruits*, 74(2), 65-72.

Pearson, S. (1992). Modelling the effect of temperature on the growth and development of horticultural crops (Unpublished doctoral dissertation). University of Reading, England.

Peil, R. M. N., & Gálvez, J. L. (2004). Rendimiento de plantas de tomate injertadas y efecto de la densidad de tallos en el sistema hidropónico. *Horticultura Brasileira*, 22(2), 265-270.

Ribas, R. G. T., Cecílio Filho, A. B., Dutra, A. F., Barbosa, J. C., & Rolim, G. D. S. (2020). Land equivalent ratio in the intercropping of cucumber with lettuce as a function of cucumber population density. *Agriculture*, 10(3), 88.

Singh, M. C., Singh, J. P., Pandey, S. K., Mahay, D., & Srivastava, V. (2017). Factors affecting the performance of greenhouse cucumber cultivation-a review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(10), 2304-2323.

Sun, K., Fu, L., Song, Y., Yuan, L., Zhang, H., Wen, D., ... & Wang, K. (2021). Effects of continuous cucumber cropping on crop quality and soil fungal community. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(7), 436.

Uzun, S. (1996). The quantitative effects of temperature and light environment on the growth, development and yield of tomato and aubergine (Unpublished doctoral dissertation). The University of Reading, England.

Uzun, S., & Çelik, H. (1998). Bazı bahçe bitkilerinde yaprak alanı tahmin modelleri (Uzçelik-I). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23, 645-650.

Uzun, S., Kandemir, D., Özkaraman, F., & Özer, H. (2013). Açıkta ve serada organik sebze yetiştiriciliği. *Doğu Karadeniz*, 1, 26-28.

Verheul, M. J. (2012). Effects of plant density, leaf removal and light intensity on tomato quality and yield. In VII International Symposium on Light in Horticultural Systems, 956, 365-372.

Zhu, Y. C., Liao, W. B., Niu, L. J., Wang, M., & Ma, Z. J. (2016). Nitric oxide is involved in hydrogen gas-induced cell cycle activation during adventitious root formation in cucumber. *BMC Plant Biology*, 16(1), 146–158.

CHAPTER 5

SU STRESİNDE HİDROJEL KULLANIMI

1. SELMAKIPÇAK BİTİK¹

Giriş

Küresel ısınmanın etkileriyle birlikte su, 21. yüzyılın en kritik sorunlarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Su stresi, tarımsal üretimde bitki gelişimini, verimi ve kaliteyi olumsuz yönde etkileyerek özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerdeki tarım sistemlerini giderek daha kırılgan hâle getirmektedir (Ingrao & ark., 2023; Elshaikh & Mabrouki, 2024).

Bitkiler, su stresiyle başa çıkmak ve stresin oluşturduğu zararları en aza indirmek amacıyla ozmotik ayarlama, kök sisteminin yeniden yapılandırılması gibi fiziksel özellikler, Absisik asit (ABA), reaktif oksijen türleri (ROS), jasmonik asit (JA) ile süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), askorbat peroksidaz (APX) ve glutatyon redüktaz (GR) gibi hormon ve enzimleri içeren antioksidan savunma sistemleri, biyokimyasal stratejiler ve genlerin gen ifade düzeyinde moleküler mekanizmalar geliştirmiştir. Bu mekanizmalar, bitkilerin biyotik ve abiyotik strese karşı uyum ve direnç süreçlerinde temel rol oynamaktadır (Agbna & Zaidi, 2025).

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Başkale MYO. Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Orcid: 0000-0002-0563-1130

Yapılan araştırmalarla bitkilerin, su kullanım verimliliğini artırmak ve su stresine karşı dayanıklılığını artırmak amacıyla çeşitli yenilikçi yaklaşımlar geliştirilmiştir (Ali & Hassan, 2020). Bu yaklaşımlardan biri, yüksek su tutma kapasitesine sahip hidrojel kullanımıdır.

Hidrojeller, büyük hacimlerde suyu emebilen ve zamanla kontrollü biçimde serbest bırakabilen yüksek emici polimer yapılarıdır. Üç boyutlu hidrofilik polimer ağlarından oluşan hidrojeller, kendi ağırlıklarının yüzlerce katı suyu absorbe edebilmekte ve suyu depolarken şişerek jel benzeri bir yapı oluşurmaktadır (Patra & Hossain, 2022; Ali & Zaidi, 2024). Bu jel yapı, çevredeki toprak kurudukça suyu yavaşça serbest bırakarak bitkilere sürekli ve dengeli bir su kaynağı sağlar (Abdallah, 2019; Abdelghafar & ark., 2024). Burada verilen referans

Hidrojellerin tarımda kullanımı kapsamlı biçimde araştırılmış olup, çok sayıda çalışma bu materyallerin bitkilerin kuraklığa karşı dayanıklılığını artırmadaki etkinliğini ortaya koymuştur. Yapılan araştırmalar, hidrojel ile zenginleştirilmiş toprakların nemi artırarak sulama sıklığını azaltarak suyun korunmasına katkı sağlamakta ve su stresi koşullarında bitki büyümesi ile verimi artırma potansiyeli sunmaktadır. Hidrojel içerikli topraklarda yetiştirilen bitkilerin; hidrojelsiz topraklarda yetiştirilenlere kıyasla daha iyi büyüme performansı, daha yüksek biyokütle ve artan verim gösterdiği bildirmektedir (Chang & Qiu, 2021; Patra & Hossain, 2022; Ali & Zaidi 2024; Nordin & Bakar, 2024). Özellikle yağışların düzensiz olduğu ve kurak dönemlerin sık görüldüğü bölgelerde, hidrojeller toprak nemini dengeleyerek kuraklığın olumsuz sonuçlarını azaltmaya yardımcı olmakta, toprak gözenekliliğini artırıp, hacim yoğunluğunu azaltarak kök gelişimini ve besin alımını desteklemektedir (Ali & Zaidi, 2024; Manimaran & Aswitha, 2024).

Modern tarımda hidrojellerin rolü yalnızca su tutma ile sınırlı değildir. Son araştırmalar, hidrojellerin gübre, pestisit gibi tarımsal girdiler için bir taşıyıcı sistem olarak işlev görebileceğini ve bu maddelerin toprak nem durumuna bağlı kontrollü salınımını sağlayabileceğini ortaya koymuştur (Han & Xu, 2024; Sarhan & Mohamed, 2024). Bu ikili işlevsellik, su kullanım verimliliğini artırmakla beraber besin maddesi kayıplarını azaltmakta ve çevresel kirliliği en aza indirmektedir (Xing & ark., 2024; Alam & Quazi, 2024). Hidrojellerin; otomatik sulama sistemleri ve hassas tarım teknolojileriyle entegrasyon potansiyeli, su ve besin yönetiminin daha da optimize edilmesini sağlayarak sürdürülebilir ve verimli tarım sistemlerinin geliştirilmesine katkı sunmaktadır (Manimaran & Aswitha, 2024)

Bu çalışma kapsamında, hidrojellerin bitkilerin su stresine karşı dayanıklılığını artırmadaki etkileri ele alınmakta, hidrojellerin özellikleri, tarımda hidrojel uygulamaları ve tarımda hidrojel uygulamalarındaki zorlukları değerlendirilmekte ve alandaki araştırma-geliştirme çalışmalarının gelecekteki yönelimleri belirlenmektedir.

2. Hidrojellerin Özellikleri

Hidrojellerin özellikleri; kimyasal bileşimleri, çapraz bağlanma yoğunlukları, şişme kapasitesi, mekanik dayanım, biyolojik olarak parçalanabilirlik ve sıcaklık, pH veya iyonik güç gibi çevresel faktörlere duyarlılık gibi çeşitli sınıflara ayrılmaktadır (Saha & ark., 2020).

2.1. Su Etkileşimine Dayalı Sınıflandırması

Hidrojeller, su ile etkileşimleri temel alınarak sınıflandırılmaktadır. Hidrojellerde su, üç farklı formda bulunabilir: serbest su, bağlı su ve ara su. Serbest su, polimer ağında zayıf etkileşimlerle tutulan ve kolayca hareket edebilen suyu; bağlı su, güçlü hidrojen bağları veya iyonik etkileşimlerle polimere tutunan

su; ara su ise hem serbest hem de bağılı suyun özelliklerini kısmen taşıyan, polimer matrisiyle orta düzeyde etkileşim gösteren su formudur (Agbna & Zaidi, 2025).

2.2. Şişme Kapasitesi ve Mekanik Mukavemet

Hidrojeller suya maruz kaldıklarında önemli ölçüde şişme mukavemet özellikleri polimer zincirlerinin hidrofilik özellikleri ile çapraz bağlanma yoğunluğuna bağlıdır. Çapraz bağlanma yoğunluğunun artması, genellikle şişme kapasitesinin azalmasına ancak mekanik dayanımın artmasına yol açar. Buna karşın, düşük çapraz bağlanma yoğunluklarına sahip hidrojeller daha esnek olup daha fazla su absorbe edebilir; ancak aşırı çevresel koşullar altında mekanik bozulmaya daha yatkındırlar (Skrzypczak & Witek-Krowiak, 2020; Tariq & Ahmed, 2023; Omar & Alsharaeh, 2024). Bu özellik tarımsal uygulamalar açısından kritik öneme sahiptir; çünkü bir hidrojinin ne kadar su depolayabileceği ve daha sonra toprağa iletebileceği bu parametre tarafından belirlenir (Nnadi & Brave, 2011).

2.3. Biyolojik Bozunabilirlik ve Çevresel Duyarlılık

Biyolojik olarak parçalanabilir hidrojeller, çevrede zararlı bir kalıntı bırakmadan zaman içinde doğal olarak ayrışabilen materyallerden oluşur (Chang & Zhang, 2011). Bu özellik, doğal polimer temelli hidrojelleri sürdürülebilir tarım uygulamaları için özellikle cazip kılmaktadır. Ancak, sentetik olarak üretilen ve yaygın olarak kullanılan birçok sentetik hidrojeller biyolojik olarak parçalanamadıklarından, uzun vadeli çevresel kaygılar gündeme gelmektedir (Oladosu & Haliru, 2022).

Hidrojeller; sıcaklık, pH veya iyonik güç gibi belirli çevresel uyaranlara yanıt verecek şekilde tasarlanabilmektedir. Örneğin, sıcaklığa duyarlı hidrojeller belirli bir sıcaklıkta faz geçişi yaşayarak suyu kontrollü biçimde salabilir (Zhang & Wang, 2010). Benzer biçimde pH'ya duyarlı hidrojeller, ortam pH'ına bağlı olarak şişme

veya büzülme davranışı sergiler ve bu özellikleri onları istenilen toprağa göre ayarlamayı uygun kılmaktadır (Tomadoni & ark., 2019; Tariq & Ahmed, 2023).

3. Tarımda Hidrojel Uygulamaları

Hidrojeller, suyu emme, depolama ve kontrollü b yimde serbest bırakma kapasiteleri sayesinde, özellikle su kıtlığının yaygın olduğu bölgelerde önem kazanmaktadır. Hidrojellerin tarımdaki kullanımı yalnızca su tutma ile sınırlı olmayıp; toprak nemini koruma, besin maddesi taşıma, tohum kaplama ve erozyon kontrolü gibi uygulamaları da kapsamaktadır.

3.1. Toprak Neminin Artırılması

Hidrojellerin tarımdaki en yaygın ve temel kullanım alanlarından biri, toprak neminin artırılmasıdır. Kuraklığa eğilimli veya düzensiz yağış alan bölgelerde yeterli toprak neminin korunması bitki büyümesi açısından kritik öneme sahiptir. Hidrojeller, sulama veya yağış sırasında suyu absorbe ederek depolar ve toprak nem kaybettikçe depolamış olduğu suyu kademeli bir şekilde salarak bitki köklerine sürekli ve dengeli bir nem kaynağı sağlar (Skrzypczak & Witek-Krowiak, 2020). Böylece, hidrojeller sayesinde sulama sıklığı azalmakta, su verimliliği artmakta ve kuraklık stresinin bitkiler üzerindeki olumsuz etkileri hafifletilerek zor koşullarda dahi daha iyi verim sağlanmaktadır (Nnadi & Brave, 2011). Yer fıstığı ve  eltik üzerine yapılan iki farklı çalışmada hidrojel uygulamasının, kuraklık koşullarında işlenmemiş topraklara kıyasla fıstıkta %30 verim artışı sağladığı, çeltikte ise su stresinin olumsuz etkilerini azaltarak daha yüksek tane verimi sağladığı rapor edilmiştir (Elshahawy, 2020; Patra & Hossain, 2022).

Hidrojellerin toprak nem tutma kapasitesini artırmadaki etkinliği farklı toprak tiplerine göre değişkenlik göstermektedir. Su sızmasının hızlı olduğu ve su tutma kapasitesinin düşük olduğu kumlu topraklarda hidrojeller; suyun daha uzun süre tutulmasını

sağlayarak derin sızma kaynaklı kayıpları önemli ölçüde azaltır (Abdallah, 2019; Patra & Hossain, 2022). Killi topraklarda ise hidrojeller fazla nemi absorbe ederek su birikmesini önler ve ihtiyaç duyulduğunda nemi geri vererek toprak nem dengesinin korunmasına katkıda bulunurlar (Patra & Hossain, 2022). Hidrojellerin bu çok yönlü fonksiyonları, hidrojelleri farklı tarımsal koşullarda toprak yapısını iyileştirmek, ıslah etmek ve işlevselliğini artırmak için etkili bir araç hâline getirmektedir. Hidrojeller, toprak nemini dengede tutarak bitkiler için daha elverişli bir ortam oluşturur; bu durum daha derin kök penetrasyonu ve daha geniş kök sistemlerinin gelişmesini teşvik eder (Patra & Hossain, 2022). Araştırmalar, hidrojel ile zenginleştirilmiş topraklarda yetiştirilen bitkilerin, işlenmemiş topraklara kıyasla daha yüksek kök biyokütlesi ürettiğini göstermektedir.

3.2. Besin Maddesi Taşıma ve Gübre Verimliliği

Hidrojeller, toprakta su tutma kapasitesi dışında, gübre ve besin maddelerinin kontrollü salınımı için taşıyıcı sistemler olarak giderek daha yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Polimer ağları içerisinde besin maddelerini kapsülleyerek, toprak nem durumuna göre depoladığı besin elementlerini kontrollü şekilde serbest bırakabilmekte ve böylece nem ve besin element salınım mekanizması oluşturmaktadır. Bu yöntem, gübre kullanım verimliliğini artırmakta ve besin element kayıplarını önemli oranda azaltmaktadır (Azeem & Thanh, 2014; Skrzypczak & Witek-Krowiak, 2021; Ali & Zaidi, 2024; Sarhan & Mohamed, 2024). Ayrıca, hidrojeller besin elementlerini depolayarak bitkinin gelişim evrelerine ve isteğine göre mineral madde salınım hızının ayarlanmasına imkân sağlamakta; böylece bitkilerin ihtiyaç duydukları dönemde doğru miktarda mineral maddeye ulaşmaları sağlanmaktadır (Ribeiro & Ramos, 2024). Çeşitli çalışmalar hidrojellerin azot, fosfor ve potasyum gibi makro besin element maddelerinin bitkiler tarafından kullanılabilirliğini belirgin şekilde

artırdığını, böylece daha iyi büyüme ve daha yüksek verim elde edildiği rapor edilmiştir (Ghobashy & Nady, 2024; Lu & Liu, 2024).

3.3. Erozyon Kontrolü ve Toprak Stabilizasyonu

Hidrojeller, toprak parçacıklarını bir arada tutarak rüzgâr ve su kaynaklı erozyon riskini azaltır (Skrzypczak & Witek-Krowiak, 2020). Hidrojellerin sahip olduğu bu özellik, gevşek, kumlu topraklar veya dik yamaçlar gibi erozyonun ciddi toprak kaybına ve yapısal bozulmaya yol açabileceği alanlarda kritik öneme sahiptir (Nnadi & Brave, 2011).

Hidrojellerin etkinliği, daha çok malç gibi toprak stabilizatörleriyle birlikte uygulanarak artırılır. Tarımsal alanlarda hidrojel ile işlenmiş topraklar, özellikle yoğun yağış dönemlerinde erozyona karşı daha dirençli hale gelmiştir (Falcão & Barbosa, 2024). Bu özellik, toprak stabilizasyonunun bitki örtüsünün başarılı bir şekilde yerleşmesi için kritik olduğu ağaçlandırma ve arazi ıslah projelerinde büyük avantaj sağlamaktadır (Ali & Zaidi, 2024).

3.4. Tohum Kaplama ve Çimlenmeyi Geliştirme

Hidrojeller, tohumlarda çimlenme oranlarını artırmak ve fide gelişimini desteklemek amacıyla tohum kaplama materyali olarak da kullanılmaktadır. Hidrojeller, topraktan suyu absorbe ederek tohuma yakın bir bölgede tutar ve özellikle suyun olmadığı dönemlerde veya suyun sınırlı olduğu kurak ve yarı kurak bölgelerde tohum çıkışını ve fide gelişimini desteklemektedir. Bu yöntem, özellikle tohumların önceden çimlendirilmeden doğrudan tarlaya ekildiği doğrudan ekim sistemlerinde büyük avantaj sağlar (Pathak & Ambrose, 2020; Saha & ark., 2020; Patra & Hossain, 2022).

Araştırmalar, hidrojellerle kaplanan tohumların tahıllar, baklagiller ve sebzeler gibi farklı bitki türlerinde çimlenme oranlarını artırdığını göstermektedir (Pathak & Ambrose, 2020; Skrzypczak & Witek-Krowiak, 2021). Hidrojeller tohum veya

fideler için yalnızca nem sağlamakla kalmaz; aynı zamanda mineral maddeler, büyüme uyarıcılar veya koruyucu bileşiklerle içeriği zenginleştirilerek, tohum ve fidelerde canlılık ve hastalıklara karşı dayanımı da artırır (Sousa & Camara, 2022).

4. Tarımda Hidrojel Uygulamalarındaki Zorluklar

Hidrojeller, tarımsal verimliliği artırma potansiyeline sahip olmalarına rağmen, yaygın bir şekilde kullanılmasında bazı zorluklar bulunmaktadır. Bunların başında da maliyet konusu gelmektedir. Özellikle sentetik polimer bazlı yüksek kaliteli hidrojellerin üretimi oldukça maliyetlidir. Bu durum, özellikle hem gelişmekte olan ülkeler hem de küçük ölçekli çiftçiler için oldukça önemli bir konudur (Nnadi & Brave, 2011). Hidrojeller ürün türü, toprak özellikleri ve iklim gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak farklı farklı üretilmektedir; bu durum da beraberinde kullanılan malzemelerin çeşitli ve bazı malzemelerin özel geliştirilmesini gerektirmektedir. İşte bu noktada maliyet konusu devreye girmekte ve hidrojel üretiminin farklı tarım sistemleri arasında genelleştirilmesini zorlaştırmaktadır (Ali & Zaidi, 2024).

Tarımda hidrojinin kârlılığı, sulama ve gübre giderlerindeki azalma ile hidrojel satın alma ve uygulama maliyetlerinin dengelenip dengelenmediğine bağlıdır. Çalışmalar, hidrojellerin su tutma ve besin verimliliğini artırarak ekonomik kazanımlar sağlayabileceğini göstermektedir. Ancak, hidrojel kullanımının net kârlılığını inceleyen kapsamlı ekonomik çalışmalar hâlen sınırlıdır. Biyopolimer sentezindeki ilerlemeler ve tarımsal yan ürünlerin kullanımı, hem ekonomik hem de çevresel açıdan uygun, biyolojik olarak parçalanabilir hidrojellerin üretimini mümkün kılmaktadır (Saha & ark., 2020; Ali & Zaidi, 2024). Böylece hidrojel üretiminde maliyetin düşürülmesiyle dünya genelinde daha geniş çiftçi kitlesi için hidrojeller erişilebilir hâle getirilebilir.

4.1. Çevresel Etki ve Biyobozunurluk

Hidrojel kullanımını sınırlandıran bir diğ er önemli konu ise sentetik hidrojellerin çevresel etkisidir. Sentetik olarak üretilen hidrojeller  oğ unlukla petrokimyasal kaynaklar kullanılarak üretimi yapılı r. Bundan dolayı çevrede kolay parçalanmaz; bu durum, toprak sağlığı ve uzun vadeli sürdürülebilirlik açısından endişeler doğurur. Zamanla, toprakta parçalanamayan hidrojellerin birikmesi, toprak yapısını ve pH'sını değiştirebilir, mikrobiyal toplulukları etkileyebilir, buna bağlı olarak toprak verimliliği ve sürdürülebilirliği azalabilir (Skrzypczak & Witek-Krowiak, 2020).

5. Sonuç

Hidrojeller, tarımda sürdürülebilir ve verimli üretim uygulamalarını desteklemede önemli bir potansiyel taşımaktadır. Su kıtlığı, toprak bozulması ve iklim değişikliği gibi küresel zorluklar tarımsal üretkenliği tehdit etmeye devam ederken, hidrojeller suyu tutma, besin sağlama ve toprak yapısını iyileştirme kapasiteleriyle bu sorunlara çözüm sunmaktadır. Ancak, yaygın kullanım için, biyobozunur hidrojellerin geliştirilmesi, akıllı ve hassas tarım uygulamaları, maliyet, çevresel etki gibi önemli konular daha detaylı araştırılmalı ve çalışmalar bu yönde olmalıdır. Araştırmacıların maliyet giderini azaltmak için, özellikle doğal ve yenilenebilir kaynaklardan üretilen uygun maliyetli ve sürdürülebilir hidrojel alternatiflerinin geliştirilmesine odaklanmalıdır. Hidrojellerin tarımdaki ilerlemesi, maliyet etkinliği, çevresel sürdürülebilirlik ve akıllı tarım entegrasyonu ile desteklendiğinde modern tarımda önemli bir   z m olarak yerini g  lendirecektir.

Kaynakça

Abdallah, A. M. (2019) The effect of hydrogel particle size on water retention properties and availability under water stress. *International soil and water conservation research*, 7(3), 275-285.<https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.05.001>

Abdelghafar, R. Abdelfattah, A. & Mostafa, H. (2024) Effect of super absorbent hydrogel on hydro-physical properties of soil under deficit irrigation *Scientific Reports*, 14(1), 7655. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57786-5>

Agbna, G. H. D. & Zaidi, S. J. (2025) Hydrogel Performance in Boosting Plant Resilience to Water Stress—A Review. *Gels*, 11(4), 276.<https://doi.org/10.3390/gels11040276>

Ahmadi, A. Keshavarz, M. & Ejlali, F. (2025) Resilience to climate change in agricultural water-scarce areas: The major obstacles and adaptive strategies. *Water Resources Management*, 39(3), 1195-1214.<https://doi.org/10.1007/s11269-024-04019-z>

Alam, M. W. Junaid, P. M. Gulzar, Y. Abebe, B. Awad, M. & Quazi, S. A. (2024) Advancing agriculture with functional NM:“pathways to sustainable and smart farming technologies”. *Discover Nano*, 19(1), 197.<https://doi.org/10.1186/s11671-024-04144-z>

Ali, A. B. Elshaikh, N. A. Hussien, G. Abdallah, F. E. & Hassan, S. (2020) Biochar addition for enhanced cucumber fruit quality under deficit irrigation. *Bioscience Journal*, 36(6). <https://doi.org/10.14393/BJ-v36n6a2020-47814>

Ali, K. Asad, Z. Agbna, G. H. Saud, A. Khan, A. & Zaidi, S. J. (2024) Progress and innovations in hydrogels for sustainable agriculture. *Agronomy*, 14(12), 2815. <https://doi.org/10.3390/agronomy14122815>

Azeem, B. KuShaari, K. Man, Z. B. Basit, A. & Thanh, T. H. (2014) Review on materials & methods to produce controlled release coated urea fertilizer. *Journal of controlled release*, 181, 11-21. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2014.02.020>

Chang, C. & Zhang, L. (2011) Cellulose-based hydrogels: Present status and application prospects. *Carbohydrate polymers*, 84(1), 40-53. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.12.023>

Chang, L. Xu, L. Liu, Y. & Qiu, D. (2021) Superabsorbent polymers used for agricultural water retention. *Polymer Testing*, 94, 107021. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.107021>

Elshahawy, H. A. (2020) Impact of irrigation water regimes and anti-transpirations with hydro-gel on nutritional status of peanut grown in sandy soil. *Zagazig Journal of Agricultural Research*, 47(4), 963-974. <https://doi.org/10.21608/zjar.2020.110324>

Elshaikh, A. & Mabrouki, J. (2024) Impact of agricultural soil degradation on water and food security. In *Artificial Intelligence Systems in Environmental Engineering* (pp. 13-24). CRC Press.

Falcão, J. & Barbosa, F. E. L. (2024) Erosion in soils added with hydrogel. *Mercator* (Fortaleza), 23, e23027. <https://doi.org/10.4215/rm2024.e23027>

Ghobashy, M. M. Amin, M. A. Mustafa, A. E. El-Diehy, M. A. El-Damhougy, B. K. & Nady, N. (2024) Synthesis and application of a multifunctional poly (vinyl pyrrolidone)-based superabsorbent hydrogel for controlled fertilizer release and enhanced water retention in drought-stressed *Pisum sativum* plants. *Scientific Reports*, 14(1), 27734. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-76255-7>

Han, D. Meng, F. Li, J. Liu, H. Cao, J. Song, X. & Xu, W. (2024) Synthesis, properties and application of pesticides encapsulated hydrogels. *European Polymer Journal*, 215, 113196. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2024.113196>

Ingrao, C. Strippoli, R. Lagioia, G. & Huisingh, D. (2023) Water scarcity in agriculture: An overview of causes, impacts and approaches for reducing the risks. *Heliyon*, 9(8).

Lu, K. Abouzeid, R. Wu, Q. Chen, Q. & Liu, S. (2024) Hydrogel nanocomposite based slow-release urea fertilizer: formulation, structure, and release behavior. *Giant*, 18, 100270. <https://doi.org/10.1016/j.giant.2024.100270>

Manimaran, V. & Aswitha, K. (2024) Hydrogels in Agriculture: Enhancing crop resilience and efficiency. *Advances in Agricultural Sciences*; Royal Book Publishing: Salem, India, 96-130.

Nnadi, F. & Brave, C. (2011) Environmentally friendly superabsorbent polymers for water conservation in agricultural lands. *Journal of Soil Science and Environmental Management*, 2(7), 206-211.

Nordin, N. Afifi, W. F. W. Majid, S. R. & Bakar, N. A. (2024) Crop resilience enhancement through chitosan-based hydrogels as a sustainable solution for water-limited environments. *International Journal of Biological Macromolecules*, 282, 137202. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.137202> Get rights and content

Oladosu, Y. Rafii, M. Y. Arolu, F. Chukwu, S. C. Salisu, M. A. Fagbohun, I. K. & Haliru, B. S. (2022) Superabsorbent polymer hydrogels for sustainable agriculture: A review. *Horticulturae*, 8(7), 605. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8070605>

Omar, H. & Alsharaeh, E. (2024) Improving water retention in sandy soils with high-performance superabsorbents hydrogel polymer. *ACS omega*, 9(22), 23531-23541. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c00727>

Pathak, V. & Ambrose, R. K. (2020) Starch-based biodegradable hydrogel as seed coating for corn to improve early growth under water shortage. *Journal of Applied Polymer Science*, 137(14), 48523. <https://doi.org/10.1002/app.48523>

Patra, S. K. Poddar, R. Brestic, M. Acharjee, P. U. Bhattacharya, P. Sengupta, S. & Hossain, A. (2022) Prospects of hydrogels in agriculture for enhancing crop and water productivity under water deficit condition. *International Journal of Polymer Science*, 2022(1), 4914836. <https://doi.org/10.1155/2022/4914836>

Ribeiro, A. B. Moreira, H. Pereira, S. I. Godinho, M. da Silva Sousa, A. S. Castro, P. ... & Ramos, Ó. L. (2024) Bio-based superabsorbent hydrogels for nutrient release. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(2), 112031. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112031>

Saha, A. Sekharan, S. & Manna, U. (2020) Superabsorbent hydrogel (SAH) as a soil amendment for drought management: A review. *Soil and Tillage Research*, 204, 104736. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104736>

Sarhan, N. Arafa, E. G. Elgiddawy, N. Elsayed, K. N. & Mohamed, F. (2024) Urea intercalated encapsulated microalgae composite hydrogels for slow-release fertilizers. *Scientific Reports*, 14(1), 15032. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-58875-1>

Skrzypczak, D. Mikula, K. Kosińska, N. Widera, B. Warchoń, J. Moustakas, K. ... & Witek-Krowiak, A. (2020) Biodegradable hydrogel materials for water storage in agriculture-review of recent research. *Desalination and Water Treatment*, 194, 324-332. <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.25436>

Skrzypczak, D. Jarzembowski, Ł. Izydorczyk, G. Mikula, K. Hoppe, V. Mielko, K. A. & Witek-Krowiak, A. (2021) Hydrogel alginate seed coating as an innovative method for delivering

nutrients at the early stages of plant growth. *Polymers*, 13(23), 4233. <https://doi.org/10.3390/polym13234233>

Sousa, N. I. Sousa, A. B. D. Lacerda, C. F. D. Sales, J. R. D. S. Mesquita, R. O. Cavalcante, E. S. ... & Camara, W. A. (2022) Hydrogel as mitigator of salt stress during the establishment of *Tagetes patula* L. seedlings. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 26(11), 807-814. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n11p807-814>

Tariq, Z. Iqbal, D. N. Rizwan, M. Ahmad, M. Faheem, M. & Ahmed, M. (2023) Significance of biopolymer-based hydrogels and their applications in agriculture: a review in perspective of synthesis and their degree of swelling for water holding. *RSC advances*, 13(35), 24731-24754. <https://doi.org/10.1039/D3RA03472K>

Tomadoni, B. Casalongué, C. & Alvarez, V. A. (2019) Biopolymer-based hydrogels for agriculture applications: Swelling behavior and slow release of agrochemicals. In *Polymers for Agri-food applications* (pp. 99-125). Cham: Springer International Publishing.

Xing, Y. Zhang, X. & Wang, X. (2024) Enhancing soil health and crop yields through water-fertilizer coupling technology. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1494819. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1494819>

Zhang, H. F. Zhong, H. Zhang, L. L. Chen, S. B. Zhao, Y. J. Zhu, Y. L. & Wang, J. T. (2010) Modulate the phase transition temperature of hydrogels with both thermosensitivity and biodegradability. *Carbohydrate Polymers*, 79(1), 131-136. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.07.040>

CHAPTER 6

EFFECT OF GIBBERELIC ACID APPLICATIONS ON YIELD AND SOME BIOCHEMICAL CONTENTS IN SAKIZ AND BAYRAMPAŞA ARTICHOKE CULTIVARS¹

ADNAN UĞUR²
DÖNDÜ SEMA SEYHAN³
EDANUR AKBULUT⁴

1- INTRODUCTION

Fruits and vegetables are sources that benefit human health due to their rich content of phytochemicals such as vitamins, minerals, dietary fiber, carotenoids, and antioxidant compounds (Ceccarelli et al., 2010; Yahia et al., 2019). In recent years, studies in the field of health have indicated that fruit and vegetable

¹ This book chapter is summarized from the final report of the project supported by TUBITAK under code 1919B01231100 within the scope of 2209/A.

² Prof. Dr., Ordu Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, ORDU. Orcid: 0000-0001-6015-3146

³ Zir. Müh., Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Ana Bilim Dalı, ORDU. Orcid: 0009-0000-3875-3719

⁴ Zir. Müh., Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Ana Bilim Dalı, ORDU. Orcid: 0009-0002-2888-0452

consumption within the Mediterranean diet is effective in reducing the risk of cancer and cardiovascular diseases. The consumption of certain plant sources provides a healthy dietary strategy and plays an important role in preventing chronic diseases such as heart disease, cancer, stroke, diabetes, Alzheimer's disease, cataracts, and age-related functional decline (Liu, 2013).

Artichoke, a traditional component of the Mediterranean diet, is accepted as a functional food according to the definition of the European Commission on Functional Food Science in Europe. From a nutritional perspective, artichoke is a plant-based food whose natural components have positive effects on specific target functions beyond basic nutritional values, thereby reducing the risk of certain diseases (Ceccarelli et al., 2010).

When global artichoke production areas are examined, the Mediterranean basin is seen to be the region with the largest production area. In this region, artichoke consumption began during the periods of the ancient Greeks and Romans and has remained on distinguished tables to the present day (Vural et al., 2000). It has long been regarded as an important plant and has been the centerpiece of royal tables. It is known that the Egyptian king Ptolemy fed artichokes to his soldiers to boost their courage. With the discovery of America, artichoke was introduced to the Americas by the Spanish. Produced for many years in limited areas along the California coast, artichoke became popular in the United States when Marilyn Monroe (Norma Jeane Mortenson) was crowned Artichoke Queen at a festival held in Castroville in 1948. Castroville is still referred to as the artichoke center of the world. Today, Mediterranean countries are the leading producers and consumers of artichoke worldwide (Sonnante et al., 2007). Italy, Egypt, Spain, France, Greece, Türkiye, Israel, the USA, Chile, Peru, and Argentina are among the major artichoke-producing countries (Sgroi et al., 2015). In Italy, France, and Spain, artichoke appears in folk culture, riddles,

legends, paintings, ornaments, and ancient mosaics, occupying diverse aspects of daily life and culture. In Italy alone, more than 1.300 dishes are prepared with artichoke (Bianco, 2012).

Artichoke is primarily cultivated for its large immature flower heads. Depending on the culture, flower stalks and leaf stalks are also consumed in different ways. The edible parts are the receptacle, commonly known as the “heart,” which constitutes approximately 35–55% of the fresh head weight (Ceccarelli et al., 2010). Consumption as olive oil dishes, grilled artichokes, and canned products is widespread. Large Sakız artichokes are commonly consumed as stuffed dishes, and they are also prepared with chicken or lamb meat. In the Aegean region, artichoke cooked with olive oil, abundant lemon, dill, and fava beans is preferred. With its unique taste and aroma, artichoke is indispensable on tables (Eser et al., 2006). In recent years, increasing awareness of its health effects has led to growing global interest in artichoke. Fresh artichoke contains 10–12% dry matter per 100 g, with 88–90% water, 2–3 g protein, 0.5–2 g sugar, and 0.2–0.3 g fat (Vural et al., 2000; Eser et al., 2006; Ceccarelli et al., 2010). Artichoke is rich in B and C vitamins and has high contents of calcium, potassium, iron, magnesium, and phosphorus (Ayuso et al., 2024). Experimental studies on rats and laboratory research have scientifically demonstrated that artichoke is a highly liver-friendly vegetable. Due to its cynarin content, it significantly reduces bad cholesterol levels, helps regulate blood sugar, and purifies the blood (Gebhardt & Fausel, 1997). With its many phytochemicals, artichoke exhibits antioxidant effects. In a study conducted by Pérez-García et al. (2000), the antioxidant activities of artichokes in human leukocytes were also investigated, and it was reported that reactive oxygen species (ROS)-induced oxidative stress was inhibited by cynarin, caffeic acid, chlorogenic acid, and the flavonoid luteolin. Compared with other vegetables, artichoke heads possess hepatoprotective,

hypocholesterolemic, and antioxidant properties and contain high levels of total polyphenols (Brat et al., 2006; Ceccarelli et al., 2010; De Falco et al., 2015; Lattanzio et al., 2009; Mulinacci et al., 2004; Schütz et al., 2004).

The availability of fresh table artichokes is limited to certain periods due to climatic conditions. Along with developments in social life, the emergence of healthy nutrition practices has changed dietary behaviors, and artichoke has become prominent among health-friendly products. In Türkiye, artichoke is generally considered part of Mediterranean-style nutrition, and its consumption has rapidly increased in recent years (Ugur & Eser, 2013; Zeybekoglu & Ugur, 2013). Fresh table artichokes are mainly produced in Izmir and Aydın, while canned artichokes are produced more in Bursa. The early table variety Sakız artichoke has been registered with a geographical indication by the İzmir Commodity Exchange under the name “Urla Sakız Artichoke.” In the Marmara region, Bayrampaşa and local varieties are preferred for canning, although in recent years hybrid artichoke varieties for table and canning purposes have also been used (Duman et al., 2020). Under İzmir conditions, a commercial artichoke heart variety tested for five years had an average head weight of 29.77–45.37 g, with the highest head yield (21,666 heads/da) determined in the second year (Duman & Nas, 2020).

Sakız artichoke has a fresh and juicy appearance, lower fiber content, and does not develop spines associated with high temperatures in early harvests. Consumers consistently demand fresh artichokes, which can fetch high prices in markets. Due to climatic advantages, the Mediterranean region stands out in early artichoke production (Ilbi et al., 2007). However, the early increase in spring temperatures after April limits fresh artichoke production along coastal areas. For early production, plants that enter dormancy during summer must be reactivated by irrigation, which should be

carried out in the first half of August. Without irrigation, plants only become active with autumn rains, eliminating earliness. Expected early harvests in late January–early February may shift to late March. Optimal growth occurs at temperatures of 15–18 °C, while temperatures above 25 °C stop growth. Temperatures dropping to 0 °C cause severe damage, leading to head deformation and, depending on exposure duration, plant death. Autumn frosts in artichoke-growing regions also cause significant damage. In early varieties, the formation of early and extra-early products is prevented. Dry and hot spring conditions cause smaller heads, reduced crispness, bitterness, and fiber formation, especially in late canning varieties, leading to rapid flowering and yield loss (Eser et al., 2006). In the Aegean and Mediterranean regions, early spring temperature increases limit fresh artichoke production after April, while high summer temperatures (>35 °C) hinder table artichoke production. In contrast, the Central Black Sea region receives rainfall throughout the year, with July being the driest month and an average temperature of 22.1 °C, without extreme summer heat or large diurnal temperature differences. With careful irrigation and cultural practices, plants can be maintained in active growth without stress, allowing new shoot and head formation. Due to different yield behaviors of Sakız and Bayrampaşa varieties, a longer harvest period is possible. Harvest time and head quality are also affected by gibberellic acid (GA3) doses.

The main objective of this study was to investigate the extension of the harvest period in fresh table artichoke production and to evaluate yield distribution as well as changes in head quality and antioxidant contents.

2- MATERIALS AND METHODS

Within the scope of the study, the effects of GA3 applications on yield and quality characteristics of Sakız and Bayrampaşa artichoke cultivars grown in the Central Black Sea coastal belt were

determined. The experimental plots were established at the trial field of the Provincial Directorate of Agriculture and Forestry in Altınordu district, Ordu province. The soil was plowed to a depth of 30–40 cm at the end of September under suitable moisture conditions and leveled afterward. Raised beds 30 cm high and 70 cm wide with 30 cm spacing were prepared. The experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications. Plant spacing was 1 × 1 m. Each row consisted of 20 plants and was considered a plot, with one row left as a border. NPK fertilization was applied at 15/10/15 kg/da using ammonium nitrate, TSP, and potassium sulfate. All TSP was applied before planting, while the other fertilizers were applied in five equal doses at 20, 40, 150, 180, and 200 days after planting. All cultural practices, irrigation, and fertilization were carried out according to Vural et al. (2000).

GA3 was applied as a spray at 0, 25, and 50 ppm on March 30, when the main shoot began to appear in the central crown. Heads reaching harvest size (>7 cm diameter) were harvested. The number of days to first main head appearance, first harvest date, number of harvested heads, and first main head height were recorded. Total number and weight of harvested heads were determined. In June, when harvest was most intensive, 10 representative heads per replication were evaluated for head weight, height, width, and spinosity. Head weight was measured using a precision balance, and head dimensions were measured with a digital caliper. Spinosity was assessed by gently pressing the upper part of the head into the palm. Antioxidant contents were also determined (Eser et al., 2006).

Total antioxidant activity was determined by DPPH· free radical scavenging activity using the modified method of Demirtaş et al. (2013) based on Blois (1958). Absorbance was measured at 517 nm, and results were expressed as µmol Trolox equivalents (TE) g⁻¹ fresh weight. FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) analysis was conducted following Benzie & Strain (1996), with absorbance

measured at 593 nm and results expressed as $\mu\text{mol TE g}^{-1}$ fresh sample.

Simple statistics and analysis of variance were performed. Differences among treatments were evaluated using Tukey's multiple comparison test at a significance level of $\alpha = 0.05$ using SPSS 22.0.

3- RESULTS AND DISCUSSION

The effects of GA3 applications on yield and some biochemical contents of the Sakız cultivar are presented in Table 1.

Table 1. Plant yield values and biochemical contents of GA3 applications in Sakız varieties

Sakız variety	Treatment	Mean	Standard deviation	Minimum	Maximum
Head weight (g)	Control	409.02 b	21.07	393.14	432.92
	GA3 25 ppm	404.81 b	2.53	401.97	406.84
	GA3 50 ppm	497.47 a	32.26	460.52	520.05
	LSD	***			
Head length (cm)	Control	8.22	0.19	8.00	8.33
	GA3 25 ppm	8.11	0.19	8.00	8.33
	GA3 50 ppm	8.39	0.22	8.17	8.50
	LSD	ns.			
Head width (cm)	Control	10.94 b	0.38	10.50	11.17
	GA3 25 ppm	11.33 b	0.17	11.17	11.50
	GA3 50 ppm	12.22 a	0.63	11.50	12.67
	LSD	*			
DPPH (mg 100 g ⁻¹)	Control	325.29 a	29.90	295.39	355.19
	GA3 25 ppm	283.94 a	18.26	265.69	302.20
	GA3 50 ppm	227.41 b	22.46	205.69	250.54
	LSD	***			
Phenolic (mg 100 g ⁻¹)	Control	164.28 c	8.01	156.00	172.00
	GA3 25 ppm	182.16 b	5.39	176.00	186.00
	GA3 50 ppm	214.41 a	11.27	202.00	224.00
	LSD	***			

Flavonoid (mg 100 g ⁻¹)	Control	73.81 b	5.06	68.46	78.52
	GA3 25 ppm	157.47 a	11.15	145.12	166.80
	GA3 50 ppm	62.19 b	8.16	56.28	71.50
	LSD	***			
Yield (heads/da)	Control	1800.00 a	200.00	1600.00	2000.00
	GA3 25 ppm	1466.67 b	116.00	1400.00	1600.00
	GA3 50 ppm	1533.33 ab	116.00	1400.00	1600.00
	LSD	*			
ns.; not significant, *, p≤0.05 **; p≤0.01 ***; p≤0.001					

According to GA3 applications, changes were observed in head weight, head width, DPPH, phenolic content, flavonoid content, and yield values in the Sakız variety. GA3 application in the Sakız variety caused a decrease in yield values. The highest yield was determined in the control application with 1800 heads/da, but larger heads were observed in GA3 applications. The GA3 50 ppm application stood out in head weight, head length, head width, and phenolic content. Keskin & Namal (2019) determined that in Antalya conditions, under different fertilization applications, the main heads of Sakız artichoke plants ranged between 633.7-710 g, head width varied between 127-139.5 mm, and head length varied between 124-133 mm. These values were found to be higher than our results. It is thought that the slightly milder winter conditions in the Antalya ecology compared to our region led to these results. These values were determined to be high according to our results. It is thought that the slightly milder winter conditions in the Antalya ecology compared to our region led to these results. In our study, the control application yielded higher values in DPPH and yield values. On the other hand, the phenolic content was found to be highest in the 0 ppm GA3 application and lowest in the control application. In terms of flavonoid content, the 25 ppm GA3 application was significantly superior to other applications. When reviewing the relevant literature on biochemical content, ecological differences and varieties are seen

as the main factors (Dabbou et al., 2017; Kayahan & Saloğlu, 2021). Antioxidant activity plays a crucial role in evaluating vegetable quality, as antioxidant molecules contribute to plant growth and development under stressful conditions and promote health benefits in human nutrition. It is thought that the cooler climate of our region compared to traditional artichoke-growing areas is a contributing factor in this case.

The effects of GA3 applications on the Bayrampaşa cultivar are presented in Table 2.

Table 2. Plant yield values and biochemical contents of GA3 applications in Bayrampaşa variety

Bayrampaşa variety	Treatment	Mean	Standard deviation	Minimum	Maximum
Head weight (g)	Control	349.36 b	11.46	336.20	357.15
	GA3 25 ppm	325.46 c	6.28	318.47	330.64
	GA3 50 ppm	406.31 a	16.01	396.94	424.79
	LSD	***			
Head length (cm)	Control	8.00 ab	0.17	7.83	8.17
	GA3 25 ppm	7.50 b	0.44	7.00	7.83
	GA3 50 ppm	8.22 a	0.09	8.17	8.33
	LSD	*			
Head width (cm)	Control	10.78 a	0.19	10.67	11.00
	GA3 25 ppm	9.84 b	0.58	9.17	10.17
	GA3 50 ppm	11.28 a	0.42	10.83	11.67
	LSD	***			
DPPH (mg 100 g ⁻¹)	Control	282.78 a	24.09	255.79	302.10
	GA3 25 ppm	276.21 a	12.15	265.49	289.41
	GA3 50 ppm	138.50 b	16.45	121.96	154.85
	LSD	***			
Phenolic (mg 100 g ⁻¹)	Control	176.52 b	17.37	158.48	193.14
	GA3 25 ppm	114.04 c	16.74	102.94	133.30
	GA3 50 ppm	305.47 a	24.49	281.16	330.14
	LSD	***			

Flavonoid (mg 100 g ⁻¹)	Control	125.06 a	7.60	116.72	131.60
	GA3 25 ppm	82.13 c	5.65	77.58	88.46
	GA3 50 ppm	100.31 b	9.64	90.48	109.74
	LSD	***			
Yield (heads/da)	Control	1666	116	1600	1800
	GA3 25 ppm	1800	200	1600	2000
	GA3 50 ppm	1866	116	1800	2000
	LSD	ns.			
ns.; not significant, *, p≤0.05 **; p≤0.01 ***; p≤0.001					

According to GA3 applications, changes were observed in head weight, head length, head width, DPPH, phenolic content, and flavonoid content values in the Bayrampaşa variety. The GA3 50 ppm application was found to have higher values for head weight, head length, head width, and phenolic content. Artichokes in the control application had higher values for DPPH and flavonoid content. The biochemical contents obtained from the study were found to be slightly lower than those reported in the literature (Bonasia et al., 2023; Kayahan & Saloğlu, 2021). It is known that biochemical contents are high under stress conditions and in hot climates. The fact that our region has a cool climate suggests that this may be the reason for the low biochemical contents. Biochemical contents were found to be higher in purple-colored varieties (Bonasia et al., 2023). Ecology and genotypes are seen as absolutely effective factors in yield values.

4- CONCLUSION

It was determined that Sakız and Bayrampaşa artichoke cultivars enter mid-season production under Central Black Sea ecological conditions, with limited earliness compared to traditional perennial cultivation. Considering the climatic data of the region, it is suggested that an alternative production model using seedlings or rooted vegetative parts established in late spring could allow autumn harvests. The effects of GA3 applications varied, particularly in the

first year due to developmental variability in newly established plantations. Evaluating the subject in multi-year plantations may provide broader perspectives.

5- REFERENCES

Ayuso, P., Quizhpe, J., Rosell, M. d. l. Á., Peñalver, R., & Nieto, G. (2024). Bioactive Compounds, Health Benefits and Food Applications of Artichoke (*Cynara scolymus* L.) and Artichoke By-Products: A Review. *Applied Sciences*, 14(11), 4940. DOI:10.3390/app14114940

Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70–76. DOI:10.1006/abio.1996.0292

Bianco, V. V. (2012). The artichoke: A travelling companion in the social life, traditions and culture. *Acta Horticulturae*, 942, 25–39. DOI:10.17660/ActaHortic.2012.942.2

Blois, M. S. (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, 181(4617), 1199–1200. DOI:10.1038/1811199a0

Bonasia, A., Conversa, G., Lazzizera, C., & Elia, A. (2023). Characterization of targeted phenolic compounds in globe artichoke heads and waste from vegetatively and seed-propagated genotypes. *Plants*, 12(13), 2579. DOI:10.3390/plants12132579

Brat, P., Georgé, S., Bellamy, A., Chaffaut, L. D., Scalbert, A., Mennen, L., & Amiot, M. J. (2006). Daily polyphenol intake in France from fruit and vegetables. *The Journal of Nutrition*, 136(9), 2368–2373. DOI:10.1093/jn/136.9.2368

Ceccarelli, N., Curadi, M., Picciarelli, P., Martelloni, L., Sbrana, C., & Giovannetti, M. (2010). Globe artichoke as a functional food. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 3(3), 197–201. DOI:10.1007/s12349-010-0021-z

Dabbou, S., Flamini, G., Peiretti, P. G., Pandino, G., & Helal, A. N. (2017). Biochemical characterization and antioxidant activities of the edible part of globe artichoke cultivars grown in Tunisia. *International Journal of Food Properties*, 20(sup1), S810–S819. DOI:10.1080/10942912.2017.1321975

De Falco, B., Incerti, G., Amato, M., & Lanzotti, V. (2015). Artichoke: Botanical, agronomical, phytochemical, and pharmacological overview. *Phytochemistry reviews*, 14(6), 993–1018.

Demirtaş, I., Geçibesler, I. H., & Yağlıoğlu, A. S. (2013). Antiproliferative activities of isolated flavone glycosides and fatty acids from *Stachys byzantina*. *Phytochemistry Letters*, 6(2), 209–214. DOI:10.1016/j.phytol.2013.02.006

Duman, İ., & Nas, Y. (2020). Determination of change in yield and quality properties of canned artichoke (*Cynara scolymus* L.) production from seed. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, Özel Sayı*, 1–7. DOI:10.20289/zfdergi.703747

Duman, I., Tüzel, Y., & Appelman, D. J. (2020). Vegetable type and variety preference in Turkey. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, Özel Sayı*, 169–178.

Eser, B., İlbi, H., & Uğur, A. (2006). Enginar yetiştiriciliği. *Hasad Yayıncılık*. ISBN:975-8377-45-5, İstanbul, 64 s.

Gebhardt, R., & Fausel, M. (1997). Antioxidant and hepatoprotective effects of artichoke extracts and constituents in cultured rat hepatocytes. *Toxicology In Vitro*, 11(5), 669–672. DOI:10.1016/S0887-2333(97)00044-1

Ilbi, H., Düzyaman, E., & Eser, B. (2007). Assessment of genetic variation among local artichoke varieties by RAPDs and morphological characters. *Acta Hortic.* 729, 105-109 DOI:10.17660/ActaHortic.2007.729.15

Kayahan, S., & Saloğlu, D. (2021). Comparison of phenolic compounds and antioxidant activities of raw and cooked Turkish artichoke cultivars. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 761145. DOI:10.3389/fsufs.2021.761145

Lattanzio, V., Kroon, P. A., Linsalata, V., & Cardinali, A. (2009). Globe artichoke: A functional food and source of nutraceutical ingredients. *Journal of Functional Foods*, 1(2), 131–144. DOI:10.1016/j.jff.2009.01.002

Liu, R. H. (2013). Health-promoting components of fruits and vegetables in the diet. *Advances in Nutrition*, 4(3), 384S–392S. DOI:10.3945/an.112.003517

Mulinacci, N., Prucher, D., Peruzzi, M., Romani, A., Pinelli, P., Giaccherini, C., & Vincieri, F. F. (2004). Commercial and laboratory extracts from artichoke leaves: Estimation of caffeoyl esters and flavonoidic compounds content. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 34(2), 349–357.

Pérez-García, F., Adzet, T., & Cañigual, S. (2000). Activity of artichoke leaf extract on reactive oxygen species in human leukocytes. *Free radical research*, 33(5), 661-665.

Schütz, K., Kammerer, D. R., Carle, R., & Schieber, A. (2004). Identification and quantification of caffeoylquinic acids and flavonoids from artichoke (*Cynara scolymus* L.) heads, juice, and pomace by HPLC-DAD-ESI/MSⁿ. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(13), 4090–4096. DOI:10.1021/jf049625x

Sgroi, F., Fodera, M., Di Trapani, A. M., Tudisca, S., & Testa, R. (2015). Profitability of artichoke growing in the Mediterranean area. *HortScience*, 50(9), 1349–1352. DOI:10.21273/HORTSCI.50.9.1349

Sonnante, G., Pignone, D., & Hammer, K. (2007). The domestication of artichoke and cardoon: From Roman times to the genomic age. *Annals of Botany*, 100(5), 1095–1100. DOI:10.1093/aob/mcm127

Ugur, A., & Eser, B. (2013). The effects of plant ages and cultivar on the offshoots yield and rooting of globe artichoke. *Acta Hort.* 983, 387-392. DOI:10.17660/ActaHortic.2013.983.56

Vural, H., Eşiyok, D., & Duman, İ. (2000). *Kültür sebzeleri: Sebze yetiştirme*. Ege Üniversitesi Basımevi, 440 s., Bornova, İzmir.

Yahia, E. M., García-Solís, P., & Celis, M. E. M. (2019). Contribution of fruits and vegetables to human nutrition and health. In E. M. Yahia (Ed.), *Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables* (pp. 19–45). Woodhead Publishing. DOI:10.1016/B978-0-12-813278-4.00002-5

Zeybekoglu, E., & Ugur, A. (2013). Potted artichoke seedling propagation by using different vegetative materials and techniques. *Acta Hort.* 983, 317-324 983, 317-324 DOI:10.17660/ActaHortic.2013.983.44

CHAPTER 7

Morphological Characterization of Androgenic Pure Lines in Hatay Type Hot Peppers

1. Mesut Nar¹

2. Burcu Demirkaya Aktoy²

3. Sefanur Çelik³

4. Hakan Aktaş⁴

5. Hakan Fidan⁵

6. Ş. Şebnem Ellialtıoğlu⁶

INTRODUCTION

Pepper (*Capsicum annuum* L.) is an economically important species within the Solanaceae family. Of the approximately 37 million tons of peppers produced globally each year, around 17 million tons are contributed by China. Following Mexico and

¹ Ziraat Mühendisi, AG seed company Orcid: 0000-0001-8356-9478

² Ziraat Yüksek Mühendisi, AG seed company Orcid: 0000-0002-3390-4669

³ Ziraat Yüksek Mühendisi, AG seed company Orcid: 0000-0002-2718-2604

⁴ Prof. Dr. Isparta Applied Science University, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture, Orcid: 0000-0001-8280-5758

⁵ Doç. Dr. Akdeniz University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection, Orcid: 0000-0002-0384-9486

⁶ Prof. Dr. Doqutech Academy Llc. Co., Ankara University Technopolis, Orcid: 0000-0002-3851-466X

Indonesia, Türkiye ranks fourth in global production with 2.7 million tons, while Spain ranks fifth with a somewhat lower production volume (FAO, 2024). Collectively, these five countries account for 72.92% of total global pepper production.

Pepper (*Capsicum* spp.) is believed to have originated in the tropical and subtropical regions of Central and South America. It was among the earliest crops domesticated by humans (McLeod et al., 1982; Pickersgill, 1988; Perry et al., 2007). After its introduction to the Old World by the Spanish, it was reportedly cultivated in Hungary as early as the 16th century (Somos, 1984). Around the same period, it was also grown in Anatolia and the Balkans. Its transmission to Asia via Anatolia played a key role in the global dissemination of the species (Katz, 2009).

Today, pepper is consumed in diverse forms and is also recognized as a functional food product. It is cultivated in nearly every country worldwide, and Anatolia possesses a rich diversity of genetic resources. Among the chili pepper group, Hatay peppers, extensively grown in the Samandağ region, represent one of these valuable resources. However, open-pollinated (OP) varieties with improved quality are often sensitive to biotic stress factors and lack sufficient uniformity. As a result, hybrid pepper production has become increasingly prevalent worldwide, owing to its potential for higher yields, improved disease resistance, and enhanced marketability. The global hybrid pepper market is expected to continue expanding as growers seek cultivars that combine greater productivity with improved resilience to environmental stresses.

Breeding strategies focus on producing varieties that meet growers' requirements in terms of yield, fruit quality, and disease resistance. Developing pepper varieties with consistent pungency and minimal susceptibility to seasonal variations is also essential. The accelerated development of new varieties relies on advanced technological methods and the identification of parental lines

exhibiting superior heterosis when crossed. Understanding the genetic relatedness within the gene pool is critical for designing effective breeding programs, as the relationship between parents directly influences the productivity and quality of F1 hybrids. The magnitude of these effects depends on the degree of relatedness and distance between parental lines.

Creating heterotic groups and evaluating heterosis and combining ability significantly enhance breeding success (Nacar, 2014). The formation of heterotic groups is a technique that accelerates breeding programs by identifying which parental combinations are likely to produce heterosis. The magnitude of the heterosis effect is associated with the degree of relatedness between the parents. In general, the lower the genetic relatedness — that is, the greater the genetic distance (up to an optimal point) — the higher the heterosis effect observed. Conversely, crosses between closely related parents tend to exhibit reduced heterosis (Onus and Abak, 2022). These methods facilitate breeding and increase the probability of success within a shorter time frame (Doğangüzel et al., 2022).

Morphological characterization is an effective approach for assessing genetic relatedness and guiding hybrid variety development. For instance, Boyacı et al. (2020) examined 62 pure lines of *Solanum melongena* for 32 morphological traits and used cluster analysis to identify heterotic groups. Their findings demonstrated that this approach effectively supports the creation of superior hybrid combinations. Öntürk and Çürük (2019) investigated traits such as plant height, stem and leaf hairiness, stem color and shape, as well as leaf, flower, and fruit characteristics in pepper populations from the Hatay region. In Samandağ pepper, the study reported lower variation compared to other groups. Fruits were generally elongated, flower tips were pointed, and pungency was notably high. Several studies have employed morphological

characterization based on UPOV criteria to evaluate different pepper populations, including those conducted by Mutlu et al. (2009), Binbir and Baş (2010), Ermiş et al. (2010), Arpacı et al. (2017), Başak (2019), Taş and Balkaya (2021), Kanal and Balkaya (2021), şahin et al. (2022), and Duruk and Pınar (2023).

In this study, the main approach was employed to identify potential parental lines among Hatay pepper pure lines (DHs) carrying *Tsw* resistance genes. For this purpose, morphological characterization was performed based on 30 traits, followed by the construction of dendrograms to obtain fundamental information the genetic relatedness within androgenic Hatay pepper lines

Materials and Methods

Plant Material

This study was conducted at the AG Seed R&D station, which has a 50-decare research greenhouse located in the Kuşunlu area of Antalya. The plant material used consisted of 90 dihaploid (DH) pepper lines obtained within the scope of the TUBİTAK 1507 project (Project No: 7210289) previously conducted and completed at AG Seed (Figure 1).

Hatay Samandağ peppers represent a highly pungent village population. Their most notable characteristics are a relatively thin fruit flesh and medium-long fruit size. The plant material was derived from a gene pool created by crossing Hatay peppers with varieties tolerant to Tomato Spotted Wilt Virus (TSWV), a major pathogen causing significant damage in peppers. From this population, pure lines were developed using DH technology as detailed in our previous study (Nar et al., 2023).

Methods

Plant Cultivation and Transplanting

For each line, 54 seeds were sown in plastic germination trays filled with sterile peat. Seedlings were subsequently transplanted into trays containing a 1:1 mixture of locally sourced peat and perlite, sterilized by steam. During the seedling stage, plants were irrigated and supplied with nutrient-enriched water until they developed 3–4 true leaves, ensuring proper care throughout this period. When seedlings reached the 4–5 true leaf stage, they were transferred to the greenhouse for further growth.

The experiment was conducted during the spring growing season in a plastic-covered greenhouse. A randomized complete block design with three replications was employed. Plants were transplanted in a double-row arrangement with 100 × 50 × 60 cm spacing, using 15 plants per genotype. Throughout the growing period, cultural practices—including irrigation, fertilization, pruning, and control of diseases and pests—were applied to maintain optimal plant growth and health.

Morphological Characterization

For the characterization of the lines, 30 morphological traits were evaluated in accordance with the criteria specified by UPOV (International Union for the Protection of New Varieties of Plants), the Turkish Ministry of Food, Agriculture, and Livestock’s “Regulation on Plant Characteristics” (translated into Turkish and enacted in 2007), the International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), and the “Technical Instruction for Measuring Agricultural Values” published by the Seed Registration and Certification Center (TTSM). The 17 morphological traits evaluated using 17 scales are presented in Table 1. Observations and measurements were conducted on 10 plants and 6 fruits per replication for each trait. In addition, the characteristics plant height, stem thickness, leaf index, fruit length, fruit diameter, fruit shape index, fruit peduncle length, fruit flesh thickness, placenta length, number of fruits per plant,

average fruit weight, total yield, and yield per plant were also measured and determined.

One-way analysis of variance (ANOVA) was performed to evaluate differences between applications and genotypes. The general linear model procedure of SPSS (Statistics 20) software (IBM Corp., Armonk, NY, USA) was used for data analysis. All main effects were considered as fixed effects. Tukey's multiple range post hoc test was employed for multiple comparisons of the genotypes and media and t-test for seasons with an alpha level of 0.05.

Genetic similarity was assessed using the UPGMA (Unweighted Pair-Group Method with Arithmetic Mean) clustering approach through the NTSYS software (Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System, PC version 2.2; Rohlf, 1998), based on both morphological and molecular data. For the morphological traits, each genotype was assigned a description number (Table 1). Dendrograms were constructed using the UPGMA clustering method implemented in the SHAN module

Results and Discussion

In the study, it was determined that the mean plant height of the lines ranged from 58 cm to 142 cm (Fig. 2). The highest plant height was observed in genotype AD90 (142 cm), followed by AD88 and AD85. The shortest plant height was recorded in AD46. Padilha et al. (2016) reported that plant height in *C. annuum* genotypes ranged between 23.12 and 48.72 cm, while Sreenivas et al. (2019) found values between 37.6 and 110.6 cm. Mavi and Mavi (2015) reported a range of 14.3–77.3 cm in ornamental peppers, Özgüven and Yıldız (2011) reported 37.67–117.7 cm in *C. frutescens*, Taş (2020) 30.5–106.0 cm in *C. chinense*, and Patel et al. (2016) 27–125 cm in *C. baccatum* genotypes.

Statistically significant differences were determined among the lines in terms of stem thickness. The thickest stem was observed

in AD69 (1.96 cm), while the thinnest was found in AD75 (0.97 cm). The line with the highest leaf index was AD28. Genotypes AD10, AD16, AD25, AD35, AD40, and AD53 also exhibited relatively high leaf index values. The differences among AD84, AD74, and AD78 were not statistically significant, and these lines had the lowest leaf index values. When the plants reached harvest maturity, the leaf index was determined by measuring the ratio of average leaf length to leaf width (cm) from eight fully developed middle leaves using a digital caliper. The differences obtained in terms of leaf index are graphically presented in Figure 3.

Statistically significant differences were found among the 90 DH lines in terms of plant height, stem thickness, and leaf index, indicating that these parameters could serve as useful criteria for determining variation among genotypes. In addition, clear differences were observed among the lines with respect to fruit length, fruit diameter, fruit index, and fruit peduncle length. The mean fruit length of the lines ranged from 90.93 mm to 224.09 mm. The longest fruit was recorded in line AD37 (224.09 mm), followed by AD30 (222.94 mm), while the shortest fruit was observed in AD88 (90.93 mm). Koç (2022) reported that in a comparative study of Kilis and Elbeyli peppers, fruit lengths ranged from 111.3 to 208.9 mm in Kilis genotypes and 68.8 to 127.9 mm in Elbeyli genotypes. Similarly, Öntürk (2018) reported that fruit length values of 16 pepper genotypes collected from different regions of Hatay province ranged between 133.6 mm and 210.8 mm.

Significant differences in fruit diameter were observed among the lines, ranging from 20.49 mm to 34.96 mm. The highest fruit diameter was recorded in line AD89 (34.96 mm), followed by AD36 (34.93 mm), while the lowest fruit diameter was measured in line AD49 (20.49 mm). These findings indicate that genetic diversity has a considerable influence on fruit diameter and that this trait should be considered an important criterion in selection studies.

Similarly, Yayman et al. (2024) reported that among 12 genotypes selected from Kahramanmaraş pepper populations and 4 registered pepper cultivars, the highest fruit diameter was observed in the cultivar ‘Dila’ (23 mm), while the lowest was recorded in line 378 (15.84 mm).

When the fruit shape index was examined, the highest value was recorded in line AD16 (9.48 mm), while the lowest value was observed in AD88 (3.33 mm) (Fig.4). In a study conducted by Özgen and Balkaya (2021), the fruit shape index of hybrid sweet pepper cultivar candidates ranged between 1.11 mm and 1.61 mm; however, these differences were not found to be statistically significant.

The fruit peduncle length ranged from 31.37 mm to 70.88 mm. The shortest fruit peduncle length was measured in line AD36, while the longest was recorded in line AD88 (70.88 mm). In a study conducted by Gökmen (2018), the fruit peduncle length of peppers belonging to seven çarliston types among the materials that included 23 local lines and 9 F₁ genotypes ranged from 3.5 cm to 4.88 cm. In bell pepper types, these values were found to range between 30.72 mm and 45.44 mm (Özgen ve Balkaya, 2021). In another study conducted on Hatay pepper genotypes, fruit peduncle lengths were measured to range between 34.5 mm and 57.5 mm (Öntürk ve Çürük, 2019). Therefore, morphological parameters such as fruit length, fruit diameter, and peduncle length were identified as characteristics that reveal genetic diversity.

In Hatay-type peppers, fruit flesh thickness—one of the most important selection criteria—affects eating quality, while placenta length influences both the level and distribution of pungency within the fruit. Fruit weight and number are key factors determining yield, making all these traits highly preferred characteristics for both consumers and producers. The mean fruit flesh thickness of the DH lines ranged from 2.57 mm to 4.63 mm. Line AD4 had the thickest fruit flesh (4.63 mm), while lines AD13 and AD55 had the thinnest

(2.57 mm) (Fig.5). Various studies have reported fruit flesh thickness values in peppers ranging between 0.78–2.44 mm (Dilfiruz and Pınar, 2022), 1.62–2.80 mm (Altuntaş et al., 2021), 1.17–2.76 mm (Tatar, 2022), and 0.9–4.88 mm (Khan et al., 2025). Differences in pepper fruit segments are known to influence fruit flesh thickness.

Among the DH lines, placenta length varied between 23.60 mm and 151.00 mm. The longest placenta was observed in line AD19, while the shortest was recorded in AD88. Longitudinal-sections of the DH line fruits are presented in Figure 6. A relationship has been observed between placenta length and pungency in peppers. The placenta is the primary site of capsaicinoid biosynthesis and accumulation, and numerous studies have reported that it contains the highest concentration of capsaicinoids within the fruit (Pandhair and Sharma, 2008; Cervantes-Hernández et al., 2019; Zamljen et al., 2020; Vázquez-Espinosa et al., 2023). This anatomical feature is therefore considered an important determinant of fruit pungency in *Capsicum* species.

Gülcan (2020) reported the longest placenta length as 32.7 mm in the local *Çine* pepper cultivar, while the shortest value (25.5 mm) was found in a standard open-pollinated (OP) pepper variety.

Significant differences were observed among the lines in terms of fruit weight. The highest average fruit weight was recorded in line AD36 (81.00 g), followed by AD4 (77.40 g). The lowest average fruit weight was found in line AD44 (14.80 g). When the number of fruits per plant was examined, the highest value was observed in genotype AD44 with 80 fruits per plant, while the lowest value was recorded in line AD25 with 10 fruits per plant. In a study conducted on Chile pepper populations, these values were reported to range between 28.06 g and 228.46 g (Rahevar et al., 2019). Fruit weight and the number of fruits per plant are known to vary depending on pepper type (Kanal and Balkaya, 2021; Şahin et al., 2022).

Among the morphological observation criteria, plant growth habit was evaluated for the 90 DH lines. It was determined that 26 lines had an open growth habit, 40 lines had a closed habit, and 24 lines exhibited a semi-open structure. Regarding leaf shape, 50 genotypes had deltoid-shaped leaves, 20 lines had lanceolate leaves, and 20 lines had oval-shaped leaves. Differences in plant growth habit and leaf shape have also been reported in pepper populations (Binbir and Başı, 2010; Datta and Das, 2013; Duruk and Pınar, 2023). In terms of leaf color, 64 lines were evaluated as green-leaved, 7 lines as having light green leaves, and 19 lines as having dark green leaves. Similarly, Roy et al. (2019) and Dilsiruz and Pınar (2022) reported that leaf color in peppers can vary depending on genotype. 43 lines were found to have an entire calyx shape, while 47 lines exhibited a serrated calyx.

Based on the fruit shape criterion, 55 lines were classified as having medium-length fruits, 18 lines as having short fruits, and 17 lines as having long fruits. Regarding fruit apex shape, 53 genotypes had blunt, 33 had pointed, and 4 had rounded fruit tips. For immature fruit color, 63 lines produced dark green, 18 lines produced light green, and 9 lines produced green fruits. When mature fruit color was evaluated, 7 lines were classified as light red, 31 lines as medium red, and 52 DH lines as dark red. In terms of general fruit shape, genotypes were grouped into pointed, slightly flattened, and strongly flattened categories. The fruit orientation was determined to be pendant. Fruit shape and size, apex form, and the color intensity of immature and mature fruits are key factors in marketing strategies and represent valuable data for future breeding studies, as well as important criteria for varietal differentiation.

Among the morphological observations, no statistically significant differences were found among the lines in terms of stem shape (cylindrical), stem color (green), hypocotyl color (purple), cotyledon leaf shape (lanceolate), anthocyanin formation (absent),

flower color (white), flower orientation (pendant), fruit orientation (pendant), and peduncle cavity (absent). These findings indicate that these traits were not effective in distinguishing between genotypes.

The weights harvested from each DH line throughout the growing period were recorded, and the total yield was calculated by converting the data based on the number of plants per decare. When yield per plant and total yields were evaluated, the highest total and per-plant yields were obtained from line AD8, with 6992.2 kg/da and 2797 g/plant, respectively. The lowest yield was recorded in genotype AD25, with 1155 kg/da and 462 g/plant (Table 2). Bundela et al. (2017) reported yield per plant values ranging from 110.51 g to 241.99 g in Chile pepper groups, while Rahevar et al. (2019) found yields between 71.5 g and 840.76 g per plant in Chile-type peppers. Soares et al. (2020), in their open-field study on *Habanero*-type peppers, reported total yields ranging from 1.37 to 4.22 t/da. Khan et al. (2025) determined that yield per plant in pepper populations varied between 282.4 g and 1809.4 g, while in a study on Besni pepper populations, Şahin (2024) reported total yields ranging from 155.3 g to 795.8 g.

Several studies on the collection and morphological characterization of local pepper genotypes in Turkey have been conducted by different researchers. Keleş (2007), Binbir and Baş (2010), Karaağaç and Balkaya (2010), Bozokalfa and Eşiyok (2010), Baysal (2013), Çürük et al. (2015), Keleş et al. (2016), Başak (2019), Taş and Balkaya (2021), and Altuntaş (2021) evaluated similar morphological parameters in their studies. Başak (2019) examined 99 pointed pepper genotypes based on 48 agronomic and morphological traits according to UPOV (International Union for the Protection of New Varieties of Plants) criteria. Some of these traits — including fruit length, fruit diameter, fruit wall thickness, fruit peduncle length, peduncle thickness, stem length, plant height, leaf length-width ratio, and stem length — were identified as effective

parameters for distinguishing genotypes. The researchers reported that the genotypes were grouped into 15 clusters. The most significant distinction of the present study from previous ones is that it was conducted on 90 pure lines developed using DH technology, allowing the detection of a wide range of morphological variation within a population of the same origin.

In this study, 30 plant and fruit traits, as specified in the *Materials and Methods* section, were used for the morphological characterization of the lines. Using the NTSYS computer software package, the similarities among genotypes were analyzed, and a dendrogram was constructed. According to these results, the 90 DH lines were divided into two main groups. As shown in Figure 7, there was no similarity detected between these two main groups. Group A was further divided into two subgroups, which were again separated into four sub-subgroups: *A1.1*, *A1.2*, *A2.1*, and *A2.2*. Group B consisted of two subgroups, designated as *B1.1* and *B1.2*. Based on this cluster analysis, 25% of the genotypes were classified under Group B, while 75% were grouped under Group A. Cluster analyses based on morphological traits are commonly used for heterotic grouping (Boyacı et al., 2020). The similarity matrix obtained from the analysis of morphological data can be used to determine the genetic relationship level among androgenic pure pepper lines through UPGMA clustering within the gene pool.

Morphological evaluation of plants serves not only as evidence of successful spontaneous diploidization and homozygosity but also as a valuable tool for assessing the breeding potential of newly developed lines. Similarly, Grozeva et al. (2021) obtained androgenic pure lines from Balkan-type *Kapia* peppers and performed their morphological characterization. The researchers reported that the microspore androgenesis technique could serve as a valuable source for generating variation. The results obtained for agronomic and morphological parameters demonstrated substantial

variability in fruit morphology and yield-related traits among androgenic lines derived from the same genetic background. These observations align with the findings of Nowaczyk et al. (2016). The breeding potential of various androgenic pepper materials has been widely reported, with numerous studies highlighting the development of promising lines exhibiting improved fruit quality (Shrestha et al., 2011; Luitel and Kang, 2013; Nowaczyk et al., 2014)

CONCLUSION

In this study, both plant and fruit characteristics of 90 dihaploid lines were determined. Within this scope, a total of 30 morphological and yield-related parameters were evaluated to determine the variation among pure lines. Significant differences were identified among the androgenic pure lines derived from the same Hatay pepper population. This finding demonstrates the high efficiency of doubled haploidy technology in generating homozygous lines without introducing additional variation.

This research has played an important role in establishing a valuable genetic resource for future DH studies and its potential use in hybrid variety breeding. The study demonstrates that the doubled haploidy technique is an effective accelerated breeding approach for producing initial breeding material and enhancing genetic diversity for variety improvement purposes.

Acknowledgements:

This study was prepared as part of the TÜBİTAK TEYDEB Project No. 3231081. We would like to express our gratitude to TÜBİTAK for their support. The authors acknowledge the use of OpenAI's ChatGPT (GPT-5 mini) for support in the English language and stylistic phrasing of this manuscript

FIGURES and TABLES

Figure 1. The fruits of androgenic pepper lines of Hatay (Samandağ) peppers.



Figure 2. Visual and graphical representation of the variation in plant height observed among the pure lines.

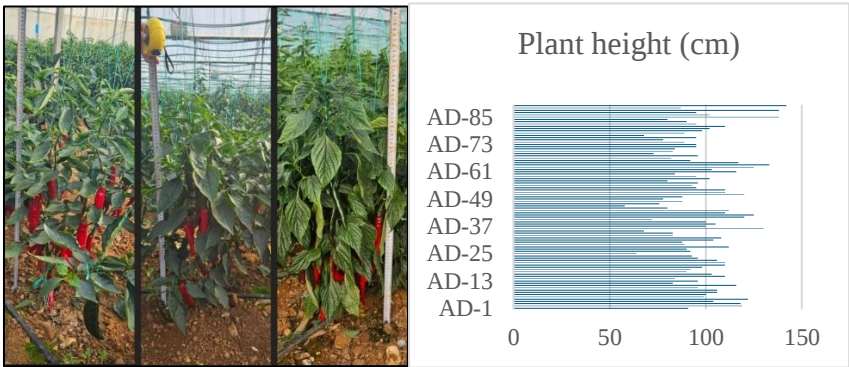


Figure 3. Visual and graphical representation of the variation in leaf index observed among the pure lines.

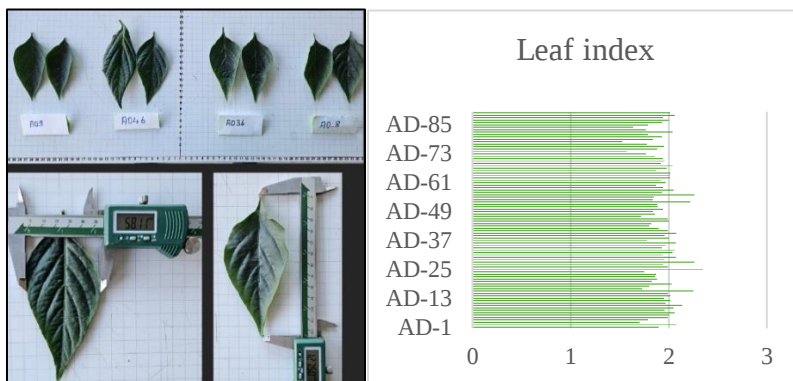


Figure 4. Graphical representation of the variation in fruit length and fruit index observed among the pure lines.

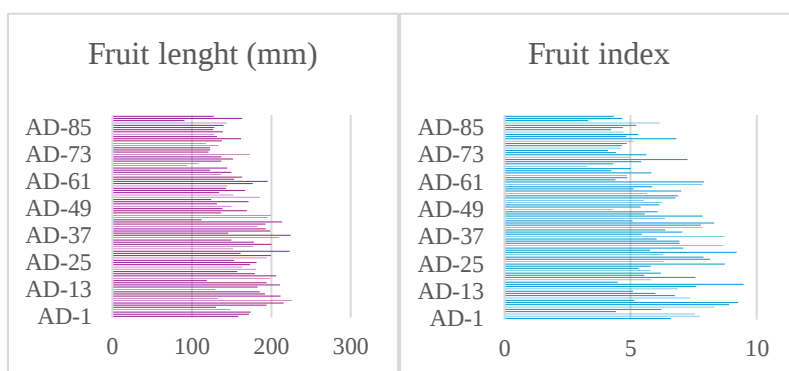


Figure 5. Fruit width, fruit length, and pericarp thickness were measured using a digital caliper.

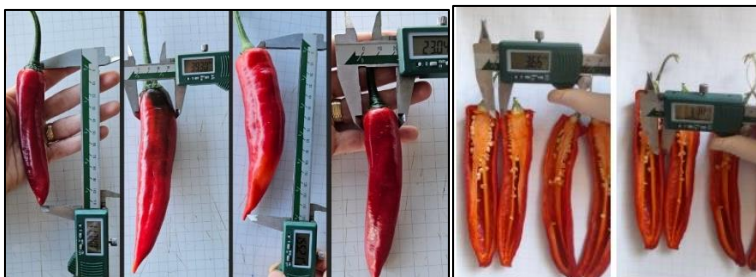


Figure 6. Longitudinal fruit sections and placenta lengths of 90 DH Hatay pepper genotypes obtained through the androgenesis method



Figure 7. Dendrogram showing the genetic distances among doubled haploid (DH) lines

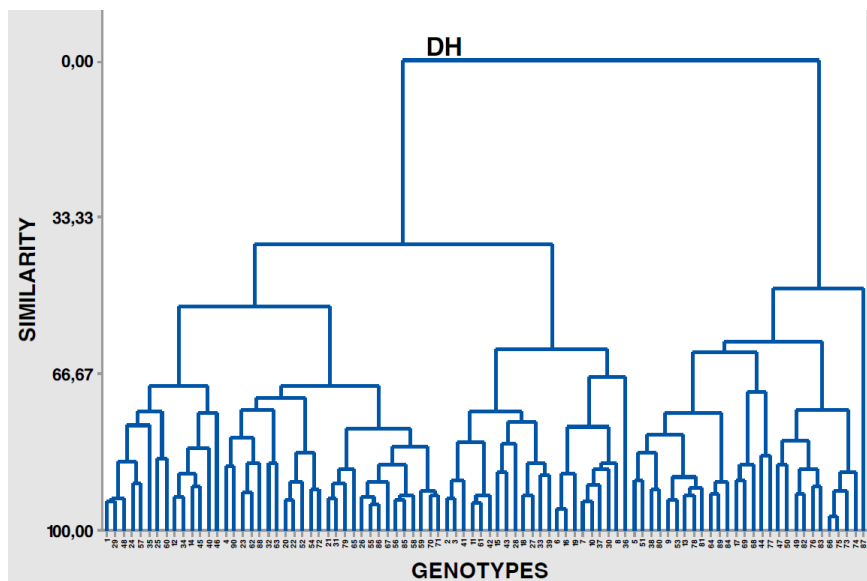


Table 1. Some of the criteria used in the characterization of 90 androgenic pepper genotypes

Morphological Traits	Evaluation Criteria
Stem Shape	(1) Cylindrical, (2) Angular, (3) Flattened
Stem Color	(1) Green, (2) Purple-striped Green, (3) Purple, (4) Other
Hypocotyl Color	(1) White, (2) Green, (3) Purple
Cotyledon Leaf Shape	(1) Deltoid, (2) Oval, (3) Lanceolate, (4) Long Deltoid
Flower Orientation	(1) Pendant, (3) Intermediate, (5) Upright
Flower Color	(1) White, (3) White-Purple, (5) White-Yellow
Anthocyanin Formation	(1) Present, (3) Absent
Peduncle Cavity	(1) Present, (3) Absent

Plant Growth Habit	(1) Open, (3) Closed, (5) Semi-open
Leaf Color	(1) Yellow, (2) Light Green, (3) Green, (4) Dark Green, (5) Light Purple, (6) Purple, (7) Variegated, (8) Other
Leaf Shape	(1) Deltoid, (2) Oval, (3) Lanceolate
Calyx Shape	(1) Entire, (2) Intermediate, (3) Serrated
Fruit Orientation	(1) Upright, (3) Semi-upright, (5) Pendant
Fruit Shape	(1) Medium, (2) Short, (3) Long
Fruit Apex Shape	(1) Blunt, (3) Pointed, (5) Rounded
Fruit Color (Green Stage)	(1) Green, (3) Light Green, (5) Dark Green
Fruit Color (Red Stage)	(1) Light Red, (3) Red, (5) Dark Red

Table 2. Total yields and yield per plant values in 90 androgenic DH pepper lines

DH line no	Total yield (t/da)	Yield per plant (kg/plant)	DH line no	Total yield (t/da)	Yield per plant (kg/plant)	DH line no	Total yield (t/da)	Yield per plant (kg/plant)
AD1	3895	1.558	AD31	4135	1.654	AD61	4370	1.748
AD2	4227.5	1.691	AD32	3077.5	1.231	AD62	4710	1.884
AD3	5262.5	2.105	AD33	3040	1.216	AD63	3380	1.352
AD4	4702.5	1.881	AD34	2665	1.066	AD64	2855	1.142
AD5	5530	2.212	AD35	3560	1.424	AD65	2390	9.56
AD6	4742.5	1.897	AD36	2580	1.032	AD66	3482.5	1.393
AD7	4172.5	1.669	AD37	4280	1.712	AD67	3405	1.362
AD8	6992.5	2.797	AD38	4060	1.624	AD68	2217.5	8.87
AD9	2672.5	1.069	AD39	2902.5	1.161	AD69	2340	9.36
AD10	4187.5	1.675	AD40	4812.5	1.925	AD70	2015	8.06
AD11	4152.5	1.661	AD41	6327.5	2.531	AD71	2037.5	8.15
AD12	3070	1.228	AD42	5052.5	2.021	AD72	2672.5	1.069
AD13	2760	1.104	AD43	5792.5	2.317	AD73	3042.5	1.217
AD14	3827.5	1.531	AD44	2977.5	1.191	AD74	2340	9.36
AD15	5942.5	2.377	AD45	3262.5	1.305	AD75	1270	5.08
AD16	4967.5	1.987	AD46	3890	1.556	AD76	2972.5	1.189
AD17	3052.5	1.221	AD47	2852.5	1.141	AD77	3040	1.216
AD18	4995	1.998	AD48	3810	1.524	AD78	3677.5	1.471
AD19	5162.5	2.065	AD49	2150	8.60	AD79	3647.5	1.459
AD20	4155	1.662	AD50	2645	1.058	AD80	3522.5	1.409
AD21	3747.5	1.499	AD51	2867.5	1.147	AD81	4080	1.632
AD22	2922.5	1.169	AD52	2605	1.042	AD82	2655	1.062
AD23	3807.5	1.523	AD53	2612.5	1.045	AD83	2730	1.092
AD24	1830	7.32	AD54	3432.5	1.373	AD84	2280	9.12
AD25	1155	4.62	AD55	2235	8.94	AD85	4302.5	1.721
AD26	2570	1.028	AD56	2255	9.02	AD86	2392.5	9.57
AD27	4995	1.998	AD57	1962.5	7.85	AD87	2285	9.14
AD28	4380	1.752	AD58	2747.5	1.099	AD88	3060	1.224
AD29	3312.5	1.325	AD59	2217.5	8.87	AD89	3302.5	1.321
AD30	3842.5	1.537	AD60	1852.5	7.41	AD90	3382.5	1.353

REFERENCES

- Abak K & Onus AN, (2022). Biber Islahı. *Sebze Islahı Solanaceae* (Patlıcangiller), 195-315.
- Altuntaş Ö, Küçük R, & Değirmenci M, (2021). Arapgir dolma biber popülasyonundan seleksiyonla seçilen ümitvar genotiplerin bitkisel özellikleri yönünden incelenmesi. *Yüzüncü Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 31(1), 1-10. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.793803>
- Arpacı BB, Balıkcı T, Gezginç Y & Yaralı Karakan F, (2017). Kahramanmaraş kırmızıbiber popülasyonundan seçilen hatların bitkisel özellikleri ve kalite değerlerinin belirlenmesi. *Alatarım*, 16(2), 47-57.
- Başak H, (2019). Agronomic and morphological characterization of Kırşehir local green long pepper (*Capsicum annuum* L. var. *longum*) populations. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 22(2), 202-216. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.488204>
- Binbir S & Baş T, (2010). Characterization of some local pepper (*Capsicum annuum* L.) populations. *Journal of Anadolu Aegean Agricultural Research Institute*, 20(2), 70-88.
- Boyacı HF, Prohens J, Unlu A, Gumrukcu E, Oten M & Plazas M, (2020). Association of heterotic groups with morphological relationships and general combining ability in eggplant. *Agriculture*, 10(6), 203.
- Cervantes-Hernández F, Alcalá-González P, Martínez O, Ordaz-Ortiz JJ. (2019). Placenta, Pericarp, and Seeds of Tabasco Chili Pepper Fruits Show a Contrasting Diversity of Bioactive Metabolites. *Metabolites*, 9(10), 206. <https://doi.org/10.3390/metabo9100206>.

- Datta S, & Das L, (2013). Characterization and genetic variability analysis in *Capsicum annuum* L. germplasm. *SAARC Journal of Agriculture*, 11(1), 91-103. <https://doi.org/10.3329/sja.v11i1.18387>
- Dilfiruz T, & Pınar H, (2019). Biberde türler arası melez popülasyonunun (*Capsicum annuum* L. x *Capsicum frutescens*) morfolojik karakterizasyonu. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 9(4), 839-849.
- Doğangüzel E, Yiğit MA, Şeker A, Altındağ FN, Ellialtıoğlu ŞŞ & Çömlekçiöğlu N, (2022). Biber ve patlıcanda katlanmış haploidi teknolojisi ile elde edilen saf hatlarda moleküler yöntemlerle heterotik grupların oluşturulması. *Bahçe*, 51(Özel Sayı 1) 13. Sebze Tarımı Sempozyumu), 137-145.
- Duruk Z & Pınar H, (2023). Bazı Elazığ biberi (*Capsicum annuum* L.) genotiplerinin morfolojik karakterizasyonu. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 9(1), 22-35.
- Ermiş S, Yılmaz K & Özden Y, (2010). Standart Tohumluk Kaydı Denemelerine Giren Biber (*Capsicum annuum* L.) Çeşitlerinde Ölçülebilir Morfolojik Karakterlerin Belirlenmesi. Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkez Müdürlüğü. Ankara
- FAO (2022). Food and Agriculture Organization, FAOSTAT. <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx> (Son erişim tarihi: 18 Mart 2024)
- Gökmen Ü, (2018). Yerel Biber Gen Kaynaklarının Fenolojik ve Morfolojik Özelliklerinin Araştırılması ve Soğuk Stresi Açısından Fenotiplenmesi. (Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı), Antalya.
- Grozeva S, Todorova V & Nankar AN, (2021). Creation of pepper doubled haploids and morphological characterization of androgenic plants. *Euphytica*, 217(6), 113.

- Gülcan H, (2020). Yerli, Standart ve Hibrit Biberlerde (*Capsicum annuum* L.) Bazı Verim ve Kalite Özelliklerinin İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi)
- Kanal A, & Balkaya A, (2021). *Capsicum baccatum* türüne ait biber popülasyonunun karakterizasyonu ve morfolojik varyasyon düzeyinin belirlenmesi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 26(2), 278-291. <https://doi.org/10.37908/mkutbd.889523>.
- Katz E, (2009). Chili Pepper, from Mexico to Europe: Food, imaginary and cultural identity. Food, imaginaries and cultural frontiers: essays in honour of helen macbeth. Guadalajara: Universidad de Guadalajara, 213-232.
- Khan N, Khaqan K & Ahmed MMJ, (2025). Genetic diversity exploration in (*Capsicum annuum* L.) sweet pepper germplasm through chemical and morphological characterization. *Pure and Applied Biology (PAB)*, 14(2), 692-709.
- Koç V, (2022) Kilis ve Elbeyli Biberinin Morfolojik Karakterizasyonu ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. (Yüksek Lisans Tezi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü), Kilis.
- Luitel B & Kang W, (2013). Assessment of fruit quality variation in doubled haploids of minipaprika (*Capsicum annuum* L.). *Hort Environ Biotechnol.*, 54, 257–265. <https://doi.org/10.1007/s13580-013-0112-0>
- Mavi K & Mavi F, (2015). Bazı süs biberi genotiplerinin tohumluk bitki özellikleri ve tohum çıkış performansları. *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(1), 31-35.
- Mcleod MJ, Guttman SI, Eshbaugh WH & Rayle RE, (1983). An electrophoretic study of evolution in *Capsicum* Solanaceae. *Evolution*, 37, 562-574.

- Mutlu S, Haytaoğlu MA, Kır A & İçer B, (2009). Morphological characterization of National Gene Bank pepper (*Capsicum annuum* L.) accessions. *Anadolu*, 19(1), 61-88.
- Nacar Ç, (2014). Yazlık Kabaklarda (*Cucurbita pepo* L.) Morfolojik ve Moleküler Yöntemlerle Heterotik Grupların Tespit Edilmesi ile Verim Erkencilik ve Meyve Özelliklerinde Heterozis. (PhD), Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Nar M, Albezirgan HN, Demirkaya B, Fidan H, Aktaş H & Ellialtıoğlu ŞŞ, (2023). Accelerated pepper breeding using molecular markers and doubled haploidy technique. *Ekin Journal of Crop Breeding and Genetics*, 9(2), 141-149.
- Nowaczyk L, Banach-Szott M, Olszewska D & Nowaczyk P, (2014). Androgenic response of *Capsicum* interspecific hybrids and capsaicinoid characteristics of DH lines. *Herba Polonica* 60, 50–59. <https://doi.org/10.1515/hepo-2015-0004>
- Nowaczyk L, Nowaczyk P & Olszewska D, (2016). Treating donor plants with 2,4-dichlorophenoxyacetic acid can increase the effectiveness of induced androgenesis in *Capsicum* spp. *Sci Hortica (Amsterdam)* 205, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.03.044>
- Öntürk G, (2018). Hatay Biberi Köy Populasyonlarında Bitki Çiçek Meyve Özelliklerinin Belirlenmesi ve Teksel Bitki Seleksiyonu ile Farklı Hatların Oluşturulması. (Yüksek Lisans Tezi Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü), Hatay.
- Öntürk G & Çürük S, (2019). Hatay'ın farklı ilçelerinde yetiştirilen biber köy popülasyonlarında bitki ve meyve özellikleri. *Yüzüncü Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 29(4), 689-701.
- Özgen R & Balkaya A, (2021). Serada sonbahar dönemi dolmalık biber yetiştiriciliğinde hibrit çeşit adaylarının meyve kalitesi

ve verim performansları. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 78-89.

- Özgüven M & Yıldız G, (2011). Capsaicin contents of different *Capsicum* (Red Peppers) populations and varieties. *Advances in Environmental Biology*, pp:1991-1996.
- Pandhair V & Sharma S, (2008). Accumulation of capsaicin in seed, pericarp and placenta of *Capsicum annuum* L fruit. *Journal of Plant Biochem. Biotechnol.* 17, 23–27.
<https://doi.org/10.1007/BF03263255>
- Perry L, Dickau R, Zarrillo S, Holst I, Pearsall D, Piperno D, Berman MJ, Cooke R, Rademaker K, Ranere A, Raymond S, Sandweiss D, Caramelli F, Tarble K & Zeidler J, (2007). Starch fossils and the domestication and dispersal of Chili peppers (*Capsicum* spp. L.) in the Americas. *Science*, 135, 966998.
- Pickersgill B, (1988). The genus *Capsicum*: a multidisciplinary approach to the taxonomy of the cultivated and wild plants. *Biol. Zent.*, 107, 381389.
- Rahevar PM, Patel JN, Kumar S & Acharya RR, (2019). Morphological, biochemical and molecular characterization for genetic variability analysis of *Capsicum annuum*. *Vegetos*, 32, 131-141.
- Rohlf FJ (1998). NTSYS-PC: Numerical taxonomy and multivariate analysis system. Release 2.20j. Exeter Software, Setauket, N.Y.
- Roy S, Chatterjee S, Hossain MA, Basfore S & Karak C, (2019). Path analysis study and morphological characterization of sweet pepper (*Capsicum annuum* L. var. *grossum*). *International Journal of Chemical Studies*, 7(1), 1777-1784
- Şahin M, Yetişir H & Pınar H, (2022). Morphological characterization of some Besni pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes in Kayseri conditions. *Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences*, 6(1), 152-164.
<https://doi.org/10.31015/jaefs.2022.1.20>

- Shrestha SL, Luitel BP, Kang WH, (2011). Agro-morphological characterization of anther derived plants in sweet pepper (*Capsicum annuum* L. cv. Boogie). *Hort Environ Biotechnol* 52,196–203. <https://doi.org/10.1007/s13580-011-0143-3>
- Somos A, (1984). The paprika. Budapest: Akadémiai Kiadó.
- Sreenivas M, Sharangi AB, Banerjee S, Maurya PK, Bhattacharjee T & Chattopadhyay A, (2019). Selecting parental lines among genotypes of *Capsicum annuum* for hybridization aiming at dry fruit yield improvement. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(5), 1881-1899.
- Taş K & Balkaya A, (2021). Determination of morphological variation by principal component analysis and characterization of the *Capsicum chinense* genetic resources. *Ekin Journal of Crop Breeding and Genetics*, 7(2), 86-105.
- Tatar M, (2022). Gaziantep Yerel Biber Genotiplerinin Morfolojik ve Moloküler Karakterizasyonu ve Double Haploid (DH) Hatların Elde Edilme Olanakları. (Doktora Tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü), Van.
- Vázquez-Espinosa M, Álvarez-Romero M, González-de-Peredo AV, Ruiz-Rodríguez A, Ferreiro-González M, Barbero GF & Palma M, (2023). Capsaicinoid content in the pericarp and placenta of Bolilla peppers (*Capsicum annuum* L.) throughout the ripening of the fruit at two different stages of plant maturation. *Agronomy*, 13, 435. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020435>
- Yayman Ö, Sermenli T & Arpacı BB, (2024). Evaluation of yield and quality characteristics of some drying red pepper lines in Antakya conditions. *Bahçe*, 53(2), 93-105.
- Zamljen T, Lojen S, Zupanc V & Slatnar A, (2023). Determination of the yield, enzymatic and metabolic response of two *Capsicum* spp. cultivars to deficit irrigation and fertilization using the stable isotope ¹⁵N. *Chem. Biol. Technol. Agric.*, 10, 129 (2023). <https://doi.org/10.1186/s40538-023-00501-9>

CHAPTER 8

CEVİZ (*Juglans regia* L.) BİTKİSİNDE TUZLULUĞA KARŞI DİRENÇ MEKANİZMALARININ İNCELENMESİ

Mesut ADA ¹

Salih KAFKAS ²

Giriş

Küresel iklim değişikliği ve sulama yöntemlerinin neden olduğu toprak tuzluluğu, dünya genelinde tarımsal üretimi giderek artarak tehdit eden bir sorun olarak öne çıkmaktadır. Tarım alanlarının %20'sinden fazlasının tuzluluktan etkilendiği ve bunun tarımsal verim üzerinde ciddi düşüslere yol açabileceği öngörülmektedir (Faostat, 2017). Özellikle yarı kurak ve kurak bölgelerde su kaynaklarının kontrolsüz kullanımı ve drenaj eksiklikleri, topraklarda aşırı tuz birikimine sebebiyet vermektedir (Munns ve Tester, 2008). Artan toprak tuzluluğu, bitkilerde su ve

¹ Ar. Gör. Dr., Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Orcid: 0000-0003-1495-9311

² Prof. Dr., Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Orcid: 0000-0002-9037-4764

iyon dengesizlikleri gibi fizyolojik stres faktörleri oluşturarak büyüme ve gelişim süreçlerini olumsuz etkilemektedir (Parida ve Das, 2005).

Bitkiler, tuz stresine adaptif bir dizi mekanizma geliştirmiş olup bu adaptasyonlar osmotik düzenleyici bileşiklerin sentezinden iyon homeostazisine, antioksidan enzim aktivitelerinin artışına ve tuza dayanıklılığı düzenleyen genlerin ekspresyonuna kadar birçok biyokimyasal ve fizyolojik süreci içermektedir (Zhu, 2001). Tuz stresinin etkileri, ekonomik değeri yüksek ve tarımsal üretimde önemli bir yere sahip ceviz yetiştiriciliğinde ciddi sonuçlar doğurabilir. Geniş bir biyolojik adaptasyon kapasitesine sahip olan ceviz bitkisi, yüksek tuzluluk koşullarında verim kayıpları ile karşı karşıya kalabilir (Vahdati ve Lotfi, 2013).

Ceviz, içeriğinde bulunan yağ asitleri, vitaminler, mineraller ve antioksidan bileşikler sayesinde birçok ülkede değerli bir tarımsal ve sağlık kaynağı olarak önem kazanmaktadır (Martínez ve ark., 2010). Ancak tuz stresine duyarlı olan ceviz, stres koşullarında verim kayıpları yaşayabilir. Bu nedenle, cevizde tuz stresine dayanıklılık mekanizmalarının anlaşılması, daha dirençli çeşitlerin geliştirilmesi için gereklidir.

Tuz stresi, bitki hücrelerinde iyon toksisitesi ve su kaybına yol açarak hücresel işlevleri bozmakta; Na^+ ve Cl^- iyonlarının hücrelerde aşırı birikimi ozmotik basınç düşüşüne ve iyon dengesizliklerine neden olarak su alımını sınırlandırmaktadır (Tester ve Davenport, 2003). Bu koşullar, hücre zarlarının geçirgenliğini değiştirerek fotosentez gibi temel biyolojik süreçlerde aksamalara neden olur. Ayrıca, tuz stresinin reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikimine yol açarak hücre zarları, proteinler ve DNA üzerinde oksidatif stres kaynaklı hasar oluşturduğu gösterilmiştir (Mittler, 2002). Bu olumsuzluklarla başa çıkmak üzere bitkiler çeşitli koruyucu mekanizmalar geliştirmiştir.

Ceviz, tuz stresine dayanıklılık geliştirme potansiyeline sahip türlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Bu dayanıklılık, iyon homeostazisinin sağlanması, osmotik düzenleyici bileşiklerin sentezi ve antioksidan savunma sistemlerinin aktivasyonu gibi temel mekanizmalarla sağlanmaktadır (Blumwald, 2000). Bu çalışmada, ceviz bitkisinin tuz stresine karşı geliştirdiği fizyolojik ve biyokimyasal adaptasyonları ve bu adaptasyonların altında yatan moleküler mekanizmaları kapsamlı bir şekilde incelenmesi amaçlanmıştır.

TUZ STRESİNİN BİTKİLER ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Toprak tuzluluğu, bitki büyüme ve gelişimini kısıtlayan temel abiyotik stres faktörlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Yüksek tuz konsantrasyonları, bitkilerin su alımını engelleyerek önemli fizyolojik dengesizliklere yol açmakta; uzun vadede ise yapısal bozulmalara neden olmaktadır. Tuz stresinin bitkiler üzerindeki etkileri, genellikle fizyolojik ve biyokimyasal olarak iki ana başlıkta değerlendirilebilir.

Fizyolojik Etkiler

Tuz stresi, bitkilerde su alımının azalmasına ve osmotik potansiyelin düşmesine yol açarak hücre içi su dengesini bozar. Tuzlu koşullar altında bitkiler, topraktan su çekmekte zorlanır; bu durum hücrelerde dehidrasyona ve dolayısıyla büyüme hızında düşüşe neden olur (Munns ve Tester, 2008). Su dengesinin bozulması, hücre turgor basıncında azalmaya, hücre genişlemesi ve bölünmesinde sınırlamalara yol açar. Bu fizyolojik değişimler sonucunda bitkilerde yaprak klorozu, büyüme noktalarının küçülmesi ve kök uzunluğunun azalması gibi olumsuz belirtiler ortaya çıkar (Flowers ve Colmer, 2008).

Yüksek Na^+ ve Cl^- iyon birikimi yaprak dokularında klorofil sentezini ve fotosentez süreçlerini olumsuz etkileyerek karbon asimilasyonunun düşmesine neden olur (Tester ve Davenport, 2003).

Yapraklarda Na^+ iyonlarının aşırı birikimi, K^+ iyon taşınımını bozarak hücresel işlevleri sınırlar. Bu iyon dengesizliği klorofil sentezinin bozulmasına ve fotosentetik etkinlikte azalmaya yol açar ve sonuç olarak bitkilerin biyokütle üretimi azalır (Munns, 2002). Fotosentez hızındaki bu azalma, bitki büyüme potansiyelini sınırlayan ana faktörlerden biridir.

Ayrıca tuz stresi, kök yapısında belirgin değişiklikler meydana getirir. Tuzlu ortamda köklerin uzunluğu ve yoğunluğunun azalması, bitkinin su ve mineral alımını kısıtlar (Chaves ve ark., 2009). Bu durum, bitkilerin özellikle yarı kurak veya tuzlu su ile sulanan bölgelerde daha yoğun stres altında kalmasına neden olur. Kök yapısındaki bu bozulmalar, bitkinin yer altı ve yer üstü dengesini olumsuz etkileyerek genel sağlığı ve stres dayanıklılığını zayıflatır.

Biyokimyasal Etkiler

Tuz stresine maruz kalan bitkilerde, yüksek tuz konsantrasyonları hücre içi reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimini artırarak oksidatif strese yol açmakta ve hücre düzeyinde ciddi hasarlara neden olmaktadır (Mittler, 2002). ROS, süperoksit (O_2^-), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroksil radikali (OH^-) gibi bileşenleri içerir ve bu türler hücre zarları, proteinler, lipidler ve DNA üzerinde zararlı etkiler yaratarak hücresel yapının bozulmasına yol açmaktadır (Gill ve Tuteja, 2010). Bitkiler, bu oksidatif stresin etkilerini azaltmak amacıyla süperoksit dismutaz, katalaz ve askorbat peroksidaz gibi çeşitli antioksidan enzimleri aktive etmektedir (Blumwald, 2000).

ROS birikimi, hücre zarlarındaki lipid peroksidasyonunu tetikleyerek zar akışkanlığı ve bütünlüğünde bozulmalara yol açar. Bu süreç, zar geçirgenliğini artırarak hücrenin su ve iyon dengesinin kaybına neden olur (Apel ve Hirt, 2004). Aynı zamanda hücre içindeki enzim ve proteinler oksidatif değişikliklere maruz

kalmakta; bu da metabolik yollar ve biyosentetik süreçlerin etkinliğini düşürmektedir (Mittler, 2002). Hücre zarındaki bu tür yapısal bozulmalar, hücrede ozmotik denge ve iyon geçirgenliği üzerinde kontrol kaybına neden olabilir ve sonuçta hücre ölümüne kadar varan sorunlar doğurabilir.

Tuz stresi koşullarında bitkiler, prolin, betain ve bazı şeker alkollerini gibi osmotik düzenleyiciler üretmektedir. Bu osmotik düzenleyiciler, ROS birikimini engellemenin yanı sıra hücre içi su dengesinin korunmasında temel bir rol oynamaktadır (Ashraf ve Foolad, 2007). Prolin gibi bileşikler, hücrelerin koruyucu mekanizmalarını destekleyerek stres koşullarına dayanıklılığı artırır. Bu moleküller, aynı zamanda antioksidan işlev göstererek hücre içi suyun korunmasına yardımcı olmakta ve hücresel yapının bütünlüğünü muhafaza etmektedir (Sairam ve Tyagi, 2004).

Ayrıca, tuz stresinin bitkilerde enerji metabolizması üzerinde de etkileri vardır ve bu durum solunum hızında değişimlere neden olmaktadır. Tuz stresine uyum sürecinde karbonhidratların oksidasyonu artarken, hücresel enerji gereksinimlerinin karşılanabilmesi amacıyla karbon kaynaklarının kullanımında artış gözlenmektedir (Parida ve Das, 2005). Enerji gereksinimindeki bu artış, bitkilerin gelişim süreçleri ve yeni doku oluşumu için gereken enerji kaynaklarının tuz stresine karşı savunma süreçlerinde harcanmasına yol açmakta ve bu durum, bitkilerin genel biyolojik verimliliğinde azalmaya neden olmaktadır.

CEVİZ BİTKİSİNİN TUZ TOLERANSINA KARŞI GELİŞTİRDİĞİ MEKANİZMALAR

Tuz stresi, bitki metabolizması üzerinde olumsuz etkiler oluşturarak biyolojik verimliliğin düşmesine neden olmaktadır. Ancak ceviz, yüksek tuzluluk koşullarında hayatta kalabilmek için bir dizi karmaşık fizyolojik ve biyokimyasal adaptasyon mekanizması geliştirmiştir. Bu adaptasyonlar, hücresel seviyede su

ve iyon homeostazisini sağlama, oksidatif hasarın etkilerini hafifletme ve hücre zarının yapısal bütünlüğünü koruma gibi kritik savunma stratejilerini içermektedir.

Osmotik Düzenleyicilerin Sentezi ve Rolü

Tuzlu koşullarda bitkiler, su kaybını önlemek ve hücrel osmotik basıncı korumak amacıyla prolin, glisin betain ve çeşitli şeker alkoller gibi osmotik düzenleyici bileşenleri sentezler. Bu moleküller yalnızca hücre içi su dengesini sağlamakla kalmaz; aynı zamanda hücrelerde biriken reaktif oksijen türlerini (ROS) nötralize ederek antioksidan işlev gösterir (Ashraf ve Foolad, 2007). Tuz stresine maruz kalan ceviz bitkisi, hücre içi su dengesini korumak ve dehidrasyonu önlemek amacıyla prolin ve betain gibi osmotik düzenleyicilerin birikimini artırmaktadır. Bu osmotik bileşikler, hücrelerde osmotik basıncı düzenleyerek bitkinin su kaybını sınırlandırmakta ve tuzlu koşullara adaptasyonunu desteklemektedir (Vahdati ve Lotfi, 2013; Karimi ve ark., 2018). Yapılan araştırmalar, kontrollü tuz stresinin ceviz bitkisinde osmotik düzenleme kapasitesini artırarak dayanıklılığını güçlendirdiğini ortaya koymuştur.

Prolin, bitki hücrelerinde birikerek osmotik denge sağlanmasında kritik rol oynayan bir amino asittir. Tuz stresine maruz kalan cevizde prolin birikiminin, hücre zarlarının korunması ve osmotik dengenin sağlanması açısından önemli bir rol oynadığı görülmektedir. Araştırmalar, prolinin ceviz bitkisinde sitoprotektif bir işlev üstlenerek hücrel yapıların tuz stresine bağlı hasarlardan korunmasına katkıda bulunduğunu ortaya koymaktadır (Vahdati ve Lotfi, 2013). Özellikle ceviz anaçları ve çeşitleri üzerinde yapılan çalışmalarda, prolin ve diğer osmotik düzenleyicilerin birikiminin bitkinin tuz dayanıklılığını artırdığı ve bu sayede büyüme hızının sürdürülebilirliğini desteklediği rapor edilmiştir (Karimi ve ark., 2018). Bu bulgular, cevizin tuzlu koşullara adaptasyonunu

güçlendirerek verim kayıplarının azalmasına katkıda bulunduğunu göstermektedir.

İyon Homeostazisi ve İyon Taşınımı

Tuz stresine maruz kalan ceviz, hücre içi Na^+ ve K^+ iyon dengesi sağlanarak iyon homeostazisinin korunması gerekliliği ile karşı karşıyadır. Bu denge, bitkinin temel metabolik süreçlerinin sürdürülebilmesi için kritik bir adaptasyon mekanizmasıdır. Na^+ ve K^+ iyonlarının homeostazisi, NHX (Na^+/H^+ antiporter) ve HKT (yüksek afinite taşıyıcı) gibi proteinlerin işleviyle düzenlenmektedir. NHX antiporterleri, Na^+ iyonlarını sitoplazmadan vakuole taşıyarak Na^+ iyonlarının vakuolde birikmesini ve böylece sitoplazmik toksisitenin önlenmesini sağlar (Apse ve Blumwald, 2007; Tester ve Davenport, 2003).

HKT taşıyıcı proteinleri ise Na^+ iyonlarının köklerde birikimini kısıtlayarak yapraklara taşınmasını azaltmakta ve Na^+ iyonlarının toksik seviyelere ulaşmasını önleyerek yaprak dokularını korumaktadır (Ren ve ark., 2005). Bu iyon taşıyıcıları, ceviz bitkisinin tuzlu toprak koşullarında iyon dengesini koruyarak büyüme ve gelişimini devam ettirebilmesine olanak tanır. K^+ iyonlarının sitoplazmada tutulması ise hücresel enzim aktivitelerini destekleyerek metabolik süreçlerin sürekliliğini sağlamaktadır (Zhu, 2003). Son dönem araştırmaları, cevizde iyon taşıyıcılarının tuz stresine karşı etkinliğini artırmak amacıyla genetik modifikasyon tekniklerinin umut vadeden bir yaklaşım olduğunu göstermektedir. Özellikle BADH gibi stresle ilişkili genlerin *Agrobacterium* aracılığıyla cevizde ekspresyonunun sağlanması, tuz ve kuraklık gibi abiyotik stres koşullarına karşı bitki dayanıklılığını artırmaktadır (Rezaei Qusheh Bolagh ve ark., 2021). Ayrıca, ceviz bitkisine kontrollü tuz stresi uygulanarak dayanıklılığı artırmaya yönelik çalışmalar, genetik müdahale ve osmotik düzenleme stratejilerinin etkinliğini ortaya koymaktadır (Karimi ve ark., 2018). Bu bulgular,

ceviz bitkisinde genetik modifikasyon teknikleri kullanılarak iyon homeostazisi ve su dengesinin korunması yoluyla tuz stresine karşı direncin artırılabilmesine dair önemli kanıtlar sunmaktadır.

Antioksidan Enzim Aktivitesinin Arttırılması

Tuz stresine maruz kalan ceviz bitkisi, hücrelerde biriken reaktif oksijen türlerini (ROS) nötralize etmek amacıyla süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve peroksidaz (POD) gibi antioksidan enzimlerin üretimini artırmaktadır. Bu enzimlerin artan aktivitesi, bitkinin oksidatif stresle başa çıkmasına yardımcı olarak hücresel yapıların korunmasına katkıda bulunmaktadır. Ceviz bitkisinde SOD, CAT ve POD aktivitelerindeki artışın, bitkinin tuz stresine karşı dayanıklılığını güçlendirdiği yapılan çalışmalarda gösterilmiştir (Tang ve ark., 2024; Mateş ve ark., 2024; Ji ve ark., 2022). ROS birikimi, hücre zarları, proteinler ve DNA gibi kritik hücresel bileşenlerde hasar oluşturarak hücre ölümüne yol açabilmektedir (Gill ve Tuteja, 2010). SOD enzimi, süperoksit radikallerini daha az zararlı olan hidrojen perokside dönüştürürken, CAT ve POD enzimleri bu hidrojen peroksidi su ve oksijene çevirerek hücresel hasarı en aza indirir (Gill ve Tuteja, 2010).

Yapılan araştırmalar, bu enzimlerin aktivitesindeki artışın ceviz bitkisinin oksidatif strese karşı dayanıklılığını güçlendirdiğini ve böylece tuzlu koşullarda dahi büyüme ve gelişim süreçlerinin sürdürülebilirliğine katkı sağladığını göstermektedir (Tang ve ark., 2024; Ji ve ark., 2022; Sadat-Hosseini ve Vahdati, 2023). Antioksidan enzim aktivitelerindeki bu artış, ceviz bitkisini tuz stresinin zararlı etkilerine karşı koruyarak uzun vadede sağlıklı gelişimini desteklemektedir.

Hücre Zar Yapısının Korunması ve Yağ Asitleri

Tuz stresine maruz kalan ceviz bitkisinin önemli bir savunma mekanizması, hücre zarlarının yapısal bütünlüğünü koruma yeteneğidir. Hücre zarı, su ve iyon dengesinin devamlılığı için kritik

bir rol üstlenmekte olup, tuz stresine karşı bir koruyucu bariyer işlevi görmektedir. Tuzlu koşullar altında hücre zarlarının geçirgenliğinin artması, iyon akışının kontrolünü zorlaştırmakta ve zarın yapısal bütünlüğünü tehdit etmektedir (Borsani ve ark., 2001). Zar akışkanlığı ve esnekliğindeki bu artış, Na^+ ve Cl^- iyonlarının hücre içine girişini sınırlandırarak bitkinin su dengesini korumasına destek sağlar (Borsani ve ark., 2001).

Ayrıca, hücre zarındaki yağ asidi bileşiminin düzenlenmesi, ceviz bitkisinin ozmotik ve iyonik streslere karşı direncini artırmaktadır. Çeşitli çalışmalar, hücre zarında doymamış yağ asitlerinin oranının artırılmasının, ceviz bitkisinin tuz stresine adaptasyon kapasitesini önemli ölçüde iyileştirdiğini ortaya koymuştur (Parida ve Das, 2005). Bu mekanizma sayesinde ceviz bitkisi, hücresel yapı ve işlevlerini koruyarak yüksek tuzluluk koşullarında dahi sağlıklı büyüme ve gelişimini sürdürebilmektedir.

GENETİK ADAPTASYONLAR VE GEN İFADESİ DEĞİŞİKLİKLERİ

Ceviz, tuz stresine karşı dayanıklılık geliştirebilmek amacıyla çeşitli genetik adaptasyon mekanizmaları oluşturmuştur. Bu adaptasyonlar, iyon homeostazisi ve osmotik dengenin korunmasını sağlamak üzere belirli genlerin ekspresyonunun düzenlenmesi ile gerçekleşmektedir. Tuz stresine dayanıklılıkta NHX (Na^+/H^+ antiporter) ve HKT (yüksek afinite taşıyıcı) genleri özellikle kritik bir rol üstlenmektedir. Bu genler, bitkinin tuzlu ortam koşullarında iyon birikimini sınırlamasına, su dengesini muhafaza etmesine ve oksidatif hasarı azaltmasına olanak tanıyarak tuz stresine karşı direnç seviyesini artırmaktadır.

NHX Gen Ailesi: Na^+/H^+ Antiporterlerin Rolü

NHX gen ailesi, hücre içi Na^+ ve H^+ iyonlarının taşınımını düzenleyen antiporter proteinleri kodlamaktadır. Bu proteinler, sitoplazmadan Na^+ iyonlarını alarak vakuole taşır ve böylece hücre

içi Na^+ iyon birikimini sınırlar. Bu mekanizma, hücrel iyon homeostazisini koruyarak toksik Na^+ birikiminin önlenmesine katkıda bulunur (Apse ve Blumwald, 2007). Tuz stresine maruz kalan cevizde, NHX genlerinin ekspresyon seviyelerinde belirgin bir artış gözlenmiştir. NHX antiporterlerinin aktive olması, Na^+ iyonlarının vakuolde depolanmasını sağlamakta; bu sayede Na^+ iyonlarının zararlı etkileri en aza indirilerek hücrel fonksiyonların korunmasına destek olmaktadır (Ren ve ark., 2005).

NHX gen ailesi sadece cevizde değil, birçok tuz toleransına sahip bitki türünde benzer işlevler üstlenmektedir. Örneğin, domates (*Solanum lycopersicum*) ve pirinç (*Oryza sativa*) bitkilerinde de NHX genlerinin tuz stresine yanıt olarak up-regülasyon gösterdiği, Na^+ iyonlarını hücre zarından vakuol içerisine taşımada etkin bir rol oynadığı tespit edilmiştir (Zhu, 2003). Bu durum, NHX genlerinin tarımsal biyoteknolojide genetik mühendislik uygulamaları ile bitkilerde tuz dayanıklılığını artırmak amacıyla kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. NHX antiporterleri, Na^+/H^+ dengesini sağlarken aynı zamanda hücre içi pH dengesinin korunmasına katkıda bulunarak metabolik işlevlerin devamlılığını sağlamaktadır (Yamaguchi ve Blumwald, 2005).

HKT Gen Ailesi: Na^+ Taşınımının Düzenlenmesi

HKT gen ailesi, köklerde Na^+ taşınımını sınırlandıran taşıyıcı proteinleri kodlamaktadır. HKT proteinleri, köklerde Na^+ iyonlarının alımını azaltarak bu iyonların yapraklara taşınmasını engeller. Bu mekanizma, bitkinin köklerde Na^+ birikimini kontrol etmesine olanak tanıırken yapraklardaki Na^+ konsantrasyonunun toksik seviyelere ulaşmasını önler (Ren ve ark., 2005). HKT genleri, Na^+ iyonlarının sitoplazmada düşük seviyelerde tutulmasını sağlayarak iyon homeostazisini desteklemekte; bu özellik ise ceviz gibi uzun ömürlü ve tuz stresine dayanıklılık geliştirmek zorunda olan bitkiler için kritik önem taşımaktadır.

HKT gen ailesinin rolü, ceviz dışında buğday (*Triticum aestivum*) ve pirinç (*Oryza sativa*) gibi diğer tarımsal bitkilerde de kapsamlı bir araştırma alanı olmuştur. Bu bitkilerde HKT genlerinin over-ekspresyonu, köklerden Na⁺ taşınımını sınırlayarak tuz stresine dayanıklılığı artırmakta ve bitkilerin tuzlu koşullarda verimliliklerini korumasında etkili olmaktadır (Horie ve ark., 2009). HKT genlerinin ekspresyonunu düzenleyen transkripsiyon faktörlerinin belirlenmesi, bitki ıslahında kritik bir adım olarak görülmekte olup, bu genler bitkilerin tuzlu toprak koşullarına uyum sağlama kapasitesini geliştirecek şekilde genetik modifikasyon yoluyla optimize edilebilir.

Transkripsiyon Faktörleri ve Tuz Stresine Genetik Yanıt

NHX ve HKT genlerinin ekspresyonu, çeşitli transkripsiyon faktörleri tarafından düzenlenmektedir. Örneğin, DREB (Dehydration Responsive Element Binding) ve NAC (NAM, ATAF, ve CUC) transkripsiyon faktörleri, bitkilerin tuz stresine yanıtlarını modüle eden genetik düzenleyiciler olarak işlev görmektedir (Fujita ve ark., 2006). Ceviz bitkisi tuz stresine maruz kaldığında, bu transkripsiyon faktörlerinin ekspresyon seviyelerinde artış gözlenmekte ve bunun sonucunda NHX ve HKT genleri daha yüksek aktivite göstermektedir. Bu durum, ceviz bitkisinin genetik yapısının tuz stresine adaptasyon sağlamak üzere yeniden yapılandığını ve dayanıklılığının arttığını göstermektedir.

DREB ve NAC transkripsiyon faktörleri, ceviz bitkisi dışında soya fasulyesi (*Glycine max*) ve arpa (*Hordeum vulgare*) gibi diğer tarımsal bitkilerde de tuz stresine karşı savunma mekanizmalarını desteklemektedir. Bu transkripsiyon faktörleri, NHX ve HKT gibi iyon taşıyıcı genlerin yanı sıra antioksidan enzimleri kodlayan genlerin ekspresyonunu artırarak bitkilerin stres koşullarında hayatta kalmasına katkıda bulunmaktadır (Datta, 2013). Ayrıca, bu faktörler bitkilerin osmotik dengesini düzenleyen

genlerin ekspresyonunu artırarak hücrel yapıların korunmasını sağlamaktadır.

Genom Düzenlemeleri ve Genetik Mühendislik Yöntemleri

Son yıllarda genetik mühendislik ve genom düzenleme teknikleri, ekonomik değeri yüksek türlerden biri olan cevizde tuz stresine karşı dayanıklılığı artırma potansiyeli sunmaktadır. CRISPR/Cas9 gibi gen düzenleme teknolojileri, NHX ve HKT gibi tuz stresine duyarlı genlerin ekspresyonunu düzenleyerek bitkinin tuzlu koşullara adaptasyonunu kolaylaştırabilir (Bortesi ve Fischer, 2015). Bu genetik müdahaleler, ceviz bitkisinde daha yüksek Na⁺ toleransı ve iyon homeostazisi sağlayarak bitkinin büyüme performansını desteklemektedir.

NHX ve HKT genlerinin gen düzenleme teknolojileri kullanılarak optimize edilmesi, ceviz bitkisinin tuzlu koşullarda daha iyi bir performans göstermesini mümkün kılabilir. Tarımsal üretim için geliştirilen tuza dayanıklı ceviz çeşitlerinin elde edilmesi, bu genlerin kontrollü ekspresyonu ile sağlanabilir. CRISPR/Cas9 teknolojisi aracılığıyla NHX ve HKT genlerinin ekspresyon seviyelerinde hassas düzenlemeler yapılarak bitkilerin su dengesini koruması, Na⁺ birikiminin sınırlandırılması ve iyon homeostazisinin sağlanması hedeflenmektedir (Yamaguchi ve Blumwald, 2005).

TARIMSAL UYGULAMALAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Bu çalışma, ceviz bitkisinin tuz stresine karşı geliştirdiği biyokimyasal, fizyolojik ve genetik savunma mekanizmalarının anlaşılmasına yönelik kapsamlı bir temel sunmaktadır. Yüksek besin değeri ve ekonomik önemi nedeniyle ceviz, dünya genelinde geniş ölçekte yetiştirilen önemli bir tarımsal ürün olup, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerdeki tuzlu topraklarda yetiştirilmesinde çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Ceviz bitkisinde tuz stresine dayanıklılığın artırılması, tarımsal üretimde sürdürülebilir verimliliğin sağlanması açısından kritik bir hedeftir. Bu bağlamda,

NHX ve HKT gibi tuz toleransını düzenleyen genlerin genetik düzenleme teknikleri ile modifiye edilmesi, ceviz bitkisinin tuzlu toprak koşullarında başarıyla yetiştirilmesini destekleyebilir (Munns ve Tester, 2008).

Genetik Mühendislik ve Tuz Toleransının Artırılması

NHX ve HKT genlerinin genetik mühendislik teknikleriyle modifikasyonu ile cevizin tuz stresine dayanıklılığını artırma potansiyeline sahiptir. NHX gen ailesinin, Na^+ iyonlarını vakuollerde depolayarak sitoplazmada birikimlerini önlemesi, HKT genlerinin ise köklerde Na^+ birikimini sınırlandırarak yaprak dokularına taşınımını engellemesi, bitkide genel iyon homeostazisinin korunmasına olanak tanımaktadır (Yamaguchi ve Blumwald, 2005). Genetik mühendislik teknikleri kullanılarak NHX ve HKT genlerinin ekspresyon seviyelerinde yapılacak düzenlemelerle, ceviz bitkisinin tuzlu koşullarda dayanıklılığının artırılması mümkündür. Bu düzenlemeler, ceviz bitkisinin tarımsal verimliliği yüksek çeşitlerinin geliştirilmesinde temel bir strateji olarak değerlendirilmektedir.

Gelecekte, CRISPR/Cas9 gibi ileri düzey gen düzenleme teknolojilerinin NHX ve HKT genleri üzerinde yapılacak modifikasyonlarda kullanılması, bu genlerin kontrollü ekspresyonuna olanak sağlayacaktır. Bu teknoloji, genlerin yalnızca belirli stres koşullarında aktif hale gelmesi veya bitkinin tuz stresine maruz kaldığı durumlarda ekspresyon düzeylerinin hassas şekilde ayarlanması gibi gelişmiş genetik düzenlemelerin gerçekleştirilmesini mümkün kılar (Bortesi ve Fischer, 2015). Örneğin, ceviz bitkisinin köklerinde HKT genlerinin yüksek düzeyde ekspresyonunun sağlanması, Na^+ iyonlarının yapraklara taşınmasını sınırlandırarak bitkinin üst kısımlarını toksik iyon birikiminden korur. Bu strateji, özellikle kurak bölgelerde tuzlu

suyla yapılan sulama uygulamalarında ceviz bitkisinin büyüme ve verimliliğinin sürdürülmesi açısından kritik bir yaklaşım olabilir.

Geleneksel ve Modern Islah Yöntemlerinin Birleştirilmesi

Ceviz bitkisinde tuz stresine dayanıklı genotiplerin geliştirilmesinde, geleneksel bitki ıslahı yöntemleri ile modern biyoteknolojik yaklaşımların birleştirilmesi, tarımsal üretimde önemli bir avantaj sunabilir. Geleneksel seleksiyon yöntemleri, doğal olarak tuz stresine dayanıklılık gösteren ceviz çeşitlerinin seçilmesinde etkili bir araç olarak kullanılabilir. Buna ek olarak, genetik mühendislik ve markör destekli seleksiyon (MAS) gibi modern tekniklerin kullanımı, NHX ve HKT gibi tuza dayanıklı genlerin seçilme sürecini hızlandırabilir (Collard ve Mackill, 2008). Geleneksel ve modern yöntemlerin entegrasyonu, daha kısa sürede daha dayanıklı ceviz türlerinin geliştirilmesine imkân tanımaktadır.

Özellikle markör destekli seleksiyon, ceviz gibi uzun ömürlü türlerde tuz stresine dayanıklı bireylerin hızlı bir şekilde tanımlanmasına olanak sağlar. Tuz stresine dayanıklı aday genotiplerin MAS kullanılarak hızlıca tespit edilmesi, yetiştirme sürecini hızlandırarak üretim maliyetlerini düşürebilir ve tuz stresine dayanıklı ceviz çeşitlerinin geliştirilmesini destekleyebilir. Geleneksel seleksiyon ve biyoteknolojik yöntemlerin entegrasyonu, ceviz bitkisinin genetik çeşitliliğini koruyarak tuz toleransını artırmayı hedeflemektedir.

Gelecek Çalışmalar ve Araştırma Alanları

Ceviz bitkisinin tuz stresine dayanıklılığına yönelik gelecekteki çalışmalar, çeşitli araştırma alanlarında daha derinlemesine incelemeler gerektirmektedir. Öncelikle, cevizde tuza duyarlı ve dayanıklı gen bölgelerinin ayrıntılı olarak haritalandırılması, tuz stresine dayanıklılığın genetik temellerinin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlayabilir. Genomik analizler, özellikle NHX, HKT, DREB ve NAC gibi genlerin düzenleme

mekanizmalarını anlamak için temel bir araştırma alanı sunmakta ve bu genlerin fonksiyonlarının daha iyi çözümlenmesine olanak tanımaktadır (Datta, 2013). Ayrıca, farklı çevresel koşullarda bu genlerin ekspresyon profillerinin detaylandırılması, bitkilerin stres yanıtlarını optimize etme konusunda önemli bilgiler sağlayabilir.

İkinci olarak, ceviz bitkisinin tuz stresine adaptasyonunda epigenetik modifikasyonların rolü daha ayrıntılı olarak araştırılmalıdır. Epigenetik düzenlemeler, belirli genlerin ekspresyon seviyelerini değiştirerek bitkilerin çevresel streslere uyum sağlamasında kritik bir etkiye sahiptir (Chinnusamy et al., 2008). Epigenetik faktörlerin tuz stresine dayanıklılıktaki etkilerinin anlaşılması, ceviz bitkisinde daha dirençli genotiplerin geliştirilmesi için yeni yaklaşımlar sunabilir.

Son olarak, NHX ve HKT gibi anahtar genlerin yanı sıra, bitkilerin iyon homeostazını ve oksidatif stresi yönetmede rol oynayan diğer destekleyici genlerin (örneğin, antioksidan enzimleri kodlayan genlerin) fonksiyonel analizleri gerçekleştirilmelidir. Bu analizler, ceviz gibi önemli tarımsal bitkilerde genetik müdahalelerin en etkili noktalarının belirlenmesi için hayati bilgiler sunacaktır. Gen düzenleme teknolojileri ile yapılacak araştırmalar, gelecekte ceviz bitkisinin yalnızca tuza değil, aynı zamanda kuraklık gibi diğer çevresel stres faktörlerine karşı da daha dayanıklı hale getirilmesi potansiyelini taşımaktadır.

SONUÇ

Cevizin, tuz stresine karşı geliştirdiği adaptasyon mekanizmaları, tuzlu toprak koşullarında büyüme ve tarımsal verimliliğin sürdürülebilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Küresel tarım ekonomisinde yüksek besin değeri ve ekonomik getirisi nedeniyle geniş ölçekte yetiştirilen ceviz bitkisi, özellikle yarı kurak ve kurak bölgelerde artan toprak tuzluluğu nedeniyle çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu bağlamda, ceviz bitkisinin

tuz stresine karşı sergilediği fizyolojik, biyokimyasal ve genetik adaptasyonların anlaşılması, daha dayanıklı ve yüksek verimli ceviz çeşitlerinin geliştirilmesi açısından önemli bir potansiyele sahiptir.

Bu çalışmada ele alınan antioksidan savunma mekanizmaları, iyon homeostazisi ve osmotik düzenleyicilerin sentezi gibi adaptif stratejiler, ceviz bitkisinin tuz stresine karşı hayatta kalmasını destekleyen temel mekanizmalardır. Tuz stresine maruz kalan bitkilerde reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikimiyle oksidatif stres oluşmakta; ROS, hücresel yapılara zarar verebilen güçlü oksidatif bileşikler olarak bitkinin büyüme ve gelişimini olumsuz etkilemektedir. Ceviz bitkisi, süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve peroksidaz (POD) gibi antioksidan enzimlerin aktivitelerini artırarak oksidatif hasarı sınırlamakta, bu enzimlerin aktivitesindeki artış ROS birikimini nötralize ederek hücre zarı, proteinler ve DNA gibi kritik hücresel bileşenlerin korunmasına katkıda bulunmaktadır. Bu süreç, ceviz bitkisinin tuzlu ortamlarda dahi sağlıklı büyüme yeteneğini sürdürebilmesi için kritik bir önem taşımaktadır.

Tuz stresine karşı bir diğer adaptasyon mekanizması ise iyon homeostazisinin korunmasıdır. Tuzlu topraklarda bitki kökleri, Na^+ ve Cl^- iyonlarının aşırı alımına maruz kalmakta; bu durum hücre içinde iyon dengesizliği ve iyon toksisitesi sorunlarına yol açmaktadır. NHX ve HKT gibi iyon taşıyıcı genler, bu dengesizliği düzenleyerek ceviz bitkisinin iyon homeostazisini sağlamasına yardımcı olmaktadır. NHX antiporterleri, Na^+ iyonlarını vakuoller içine yönlendirerek sitoplazmada Na^+ birikimini sınırlar ve toksik etkiyi önler. HKT taşıyıcıları ise köklerde Na^+ birikimini kontrol ederek bu iyonların yapraklara taşınmasını sınırlandırır ve bitkinin yukarı bölümlerini toksik iyon birikiminden korur. Bu iyon homeostazisi mekanizması, ceviz bitkisinin tuz stresine karşı dayanıklılığını artıran temel bir adaptasyon stratejisi olarak öne çıkmaktadır.

Osmotik düzenleyicilerin sentezi ise ceviz bitkisinin tuzlu koşullarda hücre sel su dengesini koruma yeteneğine katkıda bulunur. Prolin, betain ve çeşitli şeker alkoller i gibi osmotik düzenleyiciler, hücre içindeki ozmotik basıncı dengeleyerek su kaybını önler. Bu bileşikler, yalnızca hücre içinde su tutulmasını sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda hücre sel yapıları koruyarak ROS birikimini nötralize edip oksidatif stresi azaltmaktadır. Ceviz bitkisinde prolin birikiminin tuz stresine yanıt olarak arttığı gözlemlenmiş olup, bu durum bitkinin tuz stresine adaptasyonunda önemli bir rol oynamaktadır. Bu adaptasyonlar, ceviz bitkisinin tuzlu koşullarda büyümeye devam edebilmesine olanak tanır.

Ceviz bitkisinin tuz stresine dayanıklılık kazanmasında genetik faktörlerin rolü de önemli ölçüde büyüktür. NHX ve HKT gibi iyon taşıyıcı proteinleri kodlayan genlerin yanı sıra, DREB ve NAC gibi transkripsiyon faktörleri de ceviz bitkisinin tuz stresine yanıtında temel bir etkiye sahiptir. Bu transkripsiyon faktörleri, tuz stresine yanıt olarak NHX ve HKT genlerinin ekspresyonunu düzenleyerek bitkide iyon homeostazisi ve osmotik dengeyi sağlar. Bu çalışma, ceviz bitkisinde tuz stresine dayanıklılığı artırmaya yönelik genetik iyileştirme çalışmalarına sağlam bir temel oluşturmaktadır. Genetik mühendislik teknikleri kullanılarak NHX ve HKT genlerinin ekspresyon seviyelerinin optimize edilmesi, ceviz bitkisinin tarımsal üretim potansiyelini sürdürülebilir kılmak adına önemli bir stratejik adım olabilir.

Gelecekteki araştırmalarda, NHX ve HKT gibi iyon taşıyıcıların yanı sıra ceviz bitkisinin tuz stresine karşı direnç göstermesinde rol oynayan diğer genlerin de detaylı olarak incelenmesi önerilmektedir. Genom düzenleme teknolojilerinin bu genlerin kontrollü ekspresyonunu sağlamak amacıyla kullanımı, ceviz bitkisinin sadece tuza değil, aynı zamanda kuraklık gibi diğer çevresel stres faktörlerine karşı da dayanıklılığını artırma potansiyeline sahiptir. CRISPR/Cas9 gibi ileri düzey genetik

araçlarla yapılacak modifikasyonlar, bitkinin çevresel stres faktörlerine adaptasyon kapasitesini güçlendirebilir.

Sonuç olarak, ceviz bitkisinin tuz stresine karşı geliştirdiği adaptasyon mekanizmaları, sağlıklı büyüme ve yüksek verimlilik sürdürülebilmesi açısından büyük öneme sahiptir. Antioksidan savunma mekanizmalarının aktivasyonu, iyon homeostazisinin sağlanması ve osmotik düzenleyicilerin sentezi gibi süreçler, ceviz bitkisinin tuz stresine adaptasyonunda temel rol oynar. Bu çalışma, tarımsal üretimde tuza dayanıklı ceviz çeşitlerinin geliştirilmesine katkı sağlayarak özellikle tuzlu toprakların yoğun olduğu bölgelerde ekonomik değerin artırılmasını hedeflemektedir. Ceviz bitkisinin tuz stresine karşı dayanıklılığını artırmaya yönelik ileri araştırmalar, tarımsal sürdürülebilirliği güçlendirecek ve tuzlu toprakların tarıma kazandırılması için yeni stratejiler sunacaktır.

Kaynakça

- Apel, K., & Hirt, H. (2004). Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology*, 55, 373-399. doi:10.1146/annurev.arplant.55.031903.141701
- Apse, M. P., & Blumwald, E. (2007). Na⁺ transport in plants. *FEBS Letters*, 581(12), 2247-2254. doi:10.1016/j.febslet.2007.03.038
- Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59(2), 206-216. doi:10.1016/j.envexpbot.2005.12.006
- Blumwald, E. (2000). Sodium transport and salt tolerance in plants. *Current Opinion in Cell Biology*, 12(4), 431-434. doi:10.1016/S0955-0674(00)00112-5
- Borsani, O., Valpuesta, V., & Botella, M. A. (2001). Evidence for a role of salicylic acid in the oxidative damage generated by NaCl and osmotic stress in *Arabidopsis* seedlings. *Plant Physiology*, 126(3), 1024-1030. doi:10.1104/pp.126.3.1024
- Bortesi, L., & Fischer, R. (2015). The CRISPR/Cas9 system for plant genome editing and beyond. *Biotechnology Advances*, 33(1), 41-52. doi:10.1016/j.biotechadv.2014.12.006
- Chaves, M. M., Flexas, J., & Pinheiro, C. (2009). Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, 103(4), 551-560. doi:10.1093/aob/mcn125
- Chinnusamy, V., Gong, Z., & Zhu, J. K. (2008). Absciscic acid-mediated epigenetic processes in plant development and stress responses. *Journal of Integrative Plant Biology*, 50(10), 1187-1195. doi:10.1111/j.1744-7909.2008.00731.x
- Collard, B. C. Y., & Mackill, D. J. (2008). Marker-assisted selection: an approach for precision plant breeding in the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491), 557-572. doi:10.1098/rstb.2007.2170
- Datta, A. (2013). Genetic engineering for improving quality and productivity of crops. *Agriculture & Food Security*, 2, 1-3.

- FAO (2017). Global assessment of salt-affected soils. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Erişim adresi: <http://www.fao.org>
- Flowers, T. J., & Colmer, T. D. (2008). Salinity tolerance in halophytes. *New Phytologist*, 179(4), 945-963. doi:10.1111/j.1469-8137.2008.02531.x
- Fujita, M., Fujita, Y., Noutoshi, Y., Takahashi, F., Narusaka, Y., Yamaguchi-Shinozaki, K., & Shinozaki, K. (2006). Crosstalk between abiotic and biotic stress responses: a current view from the point of convergence in the stress signaling networks. *Current Opinion in Plant Biology*, 9(4), 436-442. doi:10.1016/j.pbi.2006.05.014
- Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(12), 909-930. doi:10.1016/j.plaphy.2010.08.016
- Horie, T., Hauser, F., & Schroeder, J. I. (2009). HKT transporter-mediated salinity resistance mechanisms in Arabidopsis and monocot crop plants. *Trends in Plant Science*, 14(12), 660-668. doi:10.1016/j.tplants.2009.08.009
- Karimi, S., Karami, H., Mokhtassi-Bidgoli, A., Tavallali, V., & Vahdati, K. (2018). Inducing drought tolerance in greenhouse grown *Juglans regia* by imposing controlled salt stress: The role of osmotic adjustment. *Scientia horticulturae*, 239, 181-192.
- Kishor, P. B., Sangam, S., Amrutha, R. N., Laxmi, P. S., Naidu, K. R., Rao, S. R., ... & Sreenivasulu, N. (2005). Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. *Current Science*, 88(3), 424-438.
- Martínez, M. L., Labuckas, D. O., Lamarque, A. L., & Maestri, D. M. (2010). Walnut (*Juglans regia* L.): Genetic resources, chemistry, by-products. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(12), 1959-1967. doi:10.1002/jsfa.4059
- Mateş, L., Banc, R., Zaharie, F. A., Rusu, M. E., Popa, D. S. (2024). Mechanistic Insights into the Biological Effects and Antioxidant Activity of Walnut (*Juglans regia* L.) Ellagitannins: A Systematic Review. *Antioxidants*.
- Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, 7(9), 405-410. doi:10.1016/S1360-1385(02)02312-9

- Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell & Environment*, 25(2), 239-250. doi:10.1046/j.0016-8025.2001.00808.x
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-681. doi:10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911
- Ji, X., Tang, J., & Zhang, J. (2022). Effects of Salt Stress on the Morphology, Growth and Physiological Parameters of *Juglans microcarpa* L. Seedlings. *Plants*.
- Parida, A. K., & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60(3), 324-349. doi:10.1016/j.ecoenv.2004.06.010
- Ren, Z. H., Gao, J. P., Li, L. G., Cai, X. L., Huang, W., Chao, D. Y., ... & Wu, P. (2005). A rice quantitative trait locus for salt tolerance encodes a sodium transporter. *Nature Genetics*, 37(10), 1141-1146. doi:10.1038/ng1643
- Rezaei Qusheh Bolagh, F., Solouki, A., Tohidfar, M., Zare Mehrjerdi, M., Izadi-Darbandi, A., & Vahdati, K. (2021). Agrobacterium-mediated transformation of Persian walnut using BADH gene for salt and drought tolerance. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 96(2), 162-171.
- Sadat-Hosseini, M., & Vahdati, K. (2023). Mitigation of the Adverse Effects of Salinity Stress on Walnut (*Juglans regia* L.) by Ascorbic Acid under In Vitro Conditions. *Russian Journal of Plant Physiology*.
- Sairam, R. K., & Tyagi, A. (2004). Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Current Science*, 86(3), 407-421.
- Tang, J., Ji, X., Li, A., Zheng, X., Zhang, Y., & Zhang, J. (2024). Effect of Persistent Salt Stress on the Physiology and Anatomy of Hybrid Walnut (*Juglans major* × *Juglans regia*) Seedlings. *Plants*.
- Tester, M., & Davenport, R. (2003). Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Annals of Botany*, 91(5), 503-527. doi:10.1093/aob/mcg058
- Vahdati, K., & Lotfi, N. (2013). Abiotic stress tolerance in plants with emphasizing on drought and salinity stresses in walnut. *Abiotic stress-Plant responses and applications in agriculture*, 10, 307-365.

- Yamaguchi, T., & Blumwald, E. (2005). Developing salt-tolerant crop plants: challenges and opportunities. *Trends in Plant Science*, 10(12), 615-620. doi:10.1016/j.tplants.2005.10.002
- Zhu, J. K. (2001). Plant salt tolerance. *Trends in Plant Science*, 6(2), 66-71. doi:10.1016/S1360-1385(00)01838-0
- Zhu, J. K. (2003). Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Current Opinion in Plant Biology*, 6(5), 441-445. doi:10.1016/S1369-5266(03)00085-2

