

ISUBU

Journal of Agriculture Faculty

Ziraat Fakóltesi Dergisi

ISSN 1304-9984 e-ISSN 2687-3419



Volume 20

Issue 1

Year 2025

ISUBU

*J*ournal of

*A*griculture

*F*aculty



Isparta University of Applied Sciences
Journal of Agriculture Faculty

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Ziraat Fakültesi Dergisi

Volume 20, Issue 1, Year 2025

ISSN: 1304-9984 | e-ISSN: 2687-3419

This journal is indexed by the following abstracting and indexing databases

Crossref, Directory of Research Journals Indexing (DRJI), Google Scholar, Academic Resource Index, Directory of Open Access Scholarly Resources (ROAD), Sobiad, Base, FAO Agris, Academic Researches Index, CAB Abstracts, EBSCO

DERGİ HAKKINDA

Ziraat Fakültesi Dergisi (ISUBÜ ZFD), yayın hayatına 2006 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi yayıncılığında başlamıştır. Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesinin 2018 yılında kurulması ile dergi 2019 yılından itibaren yeni yayıncı kimliği ile yayın hayatına devam etmektedir. Dergi, temel ve uygulamalı tarım biliminin herhangi bir konusu hakkında yeni bilgi, gelişmiş uygulamalar ve tarımın multidisipliner entegrasyonu ile ilgili içgörü sağlayan derlemeler ve bilimsel ilerlemeleri içeren yüksek kaliteli özgün (orijinal) araştırma makalelerini kabul etmektedir. Yılda iki sayı yayımlanan ulusal-uluslararası hakemli-indeksli bir dergidir. Yayımlanmak üzere gönderilen bütün makaleler; hakemler ve editörler tarafından değerlendirilir. Dergiye yayımlanmak için gönderilen makalelerden herhangi bir değerlendirme ve başvuru ücreti alınmamakta, aynı zamanda yayınlanan makalelere açık erişimle kayıtlı ve tam metin olarak indirilebilir.

ABOUT THE JOURNAL

Journal of Agriculture Faculty (JAF) started its publication life in 2006 under the publishing of Süleyman Demirel University. With the establishment of Isparta University of Applied Sciences in 2018, the journal continues its publishing life with its new publisher identity since 2019. The journal accepts high quality original research articles on any topic of basic and applied agricultural science, including reviews and scientific advances that provide insights into new knowledge, advanced practices and multidisciplinary integration of agriculture. The journal is a national-international peer-reviewed-indexed journal published twice a year. All articles submitted for publication are evaluated by referees and editors. No evaluation and application fee are charged for articles submitted to the journal for publication, and at the same time, published articles can be registered and downloaded in full text with open access.



ISPARTA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
JOURNAL OF AGRICULTURE FACULTY

Privilege Owner

Prof. Dr.
Deniz YILMAZ
Isparta University of Applied Sciences Faculty of Agriculture Dean's Office
-Türkiye-

Editor in Chief

Prof. Dr.
Hasan ÖZ
Isparta University of Applied Sciences
-Türkiye-

Associate Editor

Assoc. Prof. Dr.
Pelin ALABOZ
Isparta University of Applied Sciences
-Türkiye-

Editorial Boards

Prof. Dr.
Hakan KULEAŞAN
Suleyman Demirel University
-Türkiye-

Prof. Dr.
Umut TOPRAK
Ankara University
-Türkiye-

Prof. Dr.
Handan VURUŞ
AKÇAÖZ
Akdeniz University
-Türkiye-

Prof. Dr.
Mehmet Serhat
ODABAŞ
Ondokuz Mayıs University
-Türkiye-

Assoc. Prof. Dr.
Alessandro D'EMİLİO
University of Catania
-Italy-

Assoc. Prof. Dr.
Timuçin EVEREST
Çanakkale Onsekiz Mart
University
-Türkiye-

Assoc. Prof. Dr.
Seda ŞAHİN
Selçuk University
-Türkiye-

Assoc. Prof. Dr.
Cihan KARACA
Akdeniz University
-Türkiye-

Assoc. Prof. Dr.
Mehmet Ali SARIDAŞ
Çukurova University
-Türkiye-

Assoc. Prof. Dr.
İlker SÖNMEZ
Akdeniz University
-Türkiye-

Assoc. Prof. Dr.
Tuğçe ÖZSAN KILIÇ
Akdeniz University
-Türkiye-

Asst. Prof. Dr.
Markéta MIHÁLIKOVÁ
Czech University
-Czechia-

Asst. Prof. Dr.
Ali KESHAVARZI
University of Tehran
-Iranian-

Asst. Prof. Dr.
Aydın ATAKAN
Gaziantep University
-Türkiye-

Dr.
Calogero SCHILLACI
European Commission;
Joint Research Center
-Italy-

Publication Boards

Prof. Dr.
Vecdi DEMİRCAN
Isparta University of Applied
Sciences
-Türkiye-

Prof. Dr.
Adnan YILDIRIM
Isparta University of Applied
Sciences
-Türkiye-

Prof. Dr.
Sibel YORULMAZ
Isparta University of Applied
Sciences
-Türkiye-

Prof. Dr.
Sevil KARAASLAN
Isparta University of Applied
Sciences
-Türkiye-

Prof. Dr.
Kenan BÜYÜKTAŞ
Akdeniz University
-Türkiye-

Prof. Dr.
Muharrem KAYA
Isparta University of Applied
Sciences
-Türkiye-

Prof. Dr.
İbrahim ERDAL
Isparta University of Applied
Sciences
-Türkiye-

Statistics Editors

Assoc. Prof. Dr.
Yasin ALTAY
Eskişehir Osmangazi University
-Türkiye-

Asst. Prof. Dr.
Rabia ALBAYRAK DELİALİOĞLU
Ankara University
- Türkiye-

Foreign Language Editor

Assoc. Prof. Dr.
Deniz SARICA
Isparta University of Applied Sciences
-Türkiye-

Publication and Technical Editor

Res. Assist.
Fuat KAYA
Isparta University of Applied Sciences
-Türkiye-

Writing Editor

Asst. Prof. Dr.
Aslı DALGIÇ
Isparta University of Applied Sciences
-Türkiye-

Layout Editors

Res. Assist.
Nazlı ERDOĞAN
Isparta University of Applied Sciences
-Türkiye-

Res. Assist.
Alper OTLU
Isparta University of Applied Sciences
-Türkiye-

Contents

Pages

Research Articles

- Fungal Diseases in Lavender Fields of the Lakes Region of Turkey..... 1-7
Türkiye’deki Göller Bölgesi Lavanta Alanlarında Fungal Hastalıklar
Aliye ALTUNIŞIK, Hülya ÖZGÖNEN ÖZKAYA

- Farklı Bölgelerden Toplanan Tetranychus urticae Koch (Acari: Tetranychidae) Popülasyonlarının Bazı
Akarisitlere Direnç Oranları, Esteraz ve GST Enzim Aktiviteleri 8-16
*Resistance Rates to Some Acaricides, Esterase and GST Enzyme Activities of Tetranychus urticae (Acari:
Tetranychidae) Populations Collected from Different Regions*
Ayşegül KARABIYIK, Recep AY

Review Articles

- İklim Değişikliğinin Bitki Fungal Patojenleri Üzerindeki Etkileri 17-24
Effects of Climate Change on Plant Fungal Pathogens
Gürkan BAŞBAĞCI

Fungal Diseases in Lavender Fields of the Lakes Region of Turkey

Aliye ALTUNISIK¹  Hulya OZGONEN OZKAYA¹ ¹ Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection ISPARTA-TÜRKİYE

Abstract

Lavender (*Lavandula* spp.) is an economically significant aromatic plant widely cultivated in the Lakes Region of Turkey. This study aimed to determine fungal diseases affecting lavender cultivation in the region and to assess disease severity. A total of 277 fungal isolates were obtained from 98 symptomatic lavender plants collected from Isparta, Afyonkarahisar, Denizli, and Burdur. The most frequently isolated fungal genera were *Fusarium* (5.92–17.38%), *Epicoccum* (3.78–7.03%), *Alternaria* (3.00–5.40%), *Rhizoctonia* (0.80–1.20%), and *Macrophomina* (2.30%). Pathogenicity tests on *Lavandula x intermedia* 'Super A' seedlings revealed that *Rhizoctonia* spp. (80.0%), *Epicoccum* spp. (77.7–83.3%), and *Fusarium* spp. (66.6–88.8%) caused varying levels of disease severity. Since the Lakes Region accounts for 42% of Turkey's total lavender production, the findings of this study provide data that can reflect fungal pathogens and disease severity in lavender cultivation nationwide.

Article Info

Received:12.03.2025

Accepted:16.04.2025

Keywords

Lavandula spp.
Lavender pathogenic fungi
Lakes region

Türkiye'deki Göller Bölgesi Lavanta Alanlarında Fungal Hastalıklar

Öz

Lavanta (*Lavandula* spp.), Türkiye'de özellikle Göller Bölgesi'nde yaygın olarak yetiştirilen ekonomik değeri yüksek aromatik bir bitkidir. Bu çalışma, bölgede lavanta tarımını etkileyen fungal hastalıkların belirlenmesi ve hastalık şiddetlerinin değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, Isparta, Afyonkarahisar, Denizli ve Burdur illerinde hastalık belirtisi gösteren 98 lavanta bitkisinden toplam 277 fungal izolat elde edilmiştir. En sık izole edilen cinsler *Fusarium* (%5.92–17.38), *Epicoccum* (%3.78–7.03), *Alternaria* (%3.00–5.40), *Rhizoctonia* (%0.80–1.20) ve *Macrophomina* (%2.30) olarak belirlenmiştir. *Lavandula x intermedia* 'Super A' fideleri üzerinde yapılan patojenite testlerinde, *Rhizoctonia* spp. (%80.0), *Epicoccum* spp. (%77.7–83.3) ve *Fusarium* spp. (%66.6–88.8) farklı seviyelerde hastalık şiddeti göstermiştir. Göller Bölgesi, Türkiye'deki toplam lavanta üretiminin %42'sini oluşturduğundan, bu çalışmada elde edilen bulgular lavanta tarımında görülen fungal patojenler ve hastalık şiddetleri açısından ülke geneline yansıtılabilecek veriler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler

Göller bölgesi
Lavanta patojenik fungusları
Lavandula spp.



Corresponding Author
aliye.altunisik@gmail.com

Introduction

Lavender (*Lavandula* spp.) is a widely cultivated aromatic plant with significant economic importance due to its applications in the cosmetics, pharmaceutical, and food industries (Lis-Balchin, 2002; Upson and Andrews, 2004). Its essential oil is highly valued for its antimicrobial and antioxidant properties, making it a key ingredient in perfumes, personal care products, and medicinal formulations (Beetham and Entwistle, 1982). The global demand for lavender and its derivatives has led to an expansion of cultivation areas, particularly in regions with suitable climatic conditions.

Turkey has emerged as a major lavender producer, with the Lakes Region playing a crucial role in national production. This region, encompassing the provinces of Isparta, Afyonkarahisar, Denizli, and Burdur, accounts for approximately 42% of Turkey's total lavender cultivation (Turkish Statistical Institute [TSI], 2023). The region's favorable climate and soil conditions have contributed to the rapid expansion of lavender farming, supporting both agricultural production and ecotourism activities (Baydar, 2021). However, the increasing cultivation area has also heightened the risk of plant diseases that threaten yield and quality.

Fungal pathogens are among the most significant biotic factors affecting lavender production, causing root rot, vascular wilt, and stem necrosis. Several fungal genera, including *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Epicoccum*, and *Macrophomina*, have been reported as major threats to lavender crops worldwide. *Fusarium oxysporum* has been identified as the causal agent of vascular wilt in lavender, leading to severe chlorosis, wilting, and plant death (Ortu et al., 2018). *Rhizoctonia solani* has been associated with black stem rot, a rapidly spreading disease resulting in complete plant collapse (Garibaldi et al., 2015). *Epicoccum sorghinum* has been reported as an emerging pathogen causing stem necrosis and plant decline (Gu et al., 2021), while *Macrophomina phaseolina* has been implicated in charcoal rot, a destructive root disease leading to substantial yield losses (Palacioğlu et al., 2024). Despite these reports, studies on fungal diseases affecting lavender in Turkey remain limited, with most research focusing on first reports rather than comprehensive pathogen identification and disease severity assessments.

Despite the increasing interest in lavender cultivation, there has been no comprehensive study on fungal pathogens affecting lavender production in Turkey. The last available study on this subject, conducted in 1996, reported *Armillaria mellea*, *Rosellinia necatrix*, *Septoria lavandulae*, and *Ophiobolus brachystoma* as fungal pathogens associated with lavender (Ceylan, 1996). However, more recent research on this topic has been limited, with most studies focusing on first reports rather than providing a broader assessment of fungal prevalence and pathogenicity.

This study aimed to identify fungal pathogens affecting lavender cultivation in the Lakes Region of Turkey using morphological methods, determine their prevalence, and assess their pathogenicity. Given the region's significant contribution to national lavender production, the findings of this study are expected to provide valuable insights into the fungal diseases threatening lavender farming in Turkey.

Material and Method

Survey and sample collection

This study was conducted between May and October 2022 in major lavender-growing areas of the Lakes Region (Isparta, Afyonkarahisar, Denizli, and Burdur). A total of 98 symptomatic lavender plants were sampled, exhibiting root and crown browning, wilting, stem lesions, and vascular bundle discoloration. From these plants, a total of 277 fungal isolates were obtained. Purposive sampling was applied to ensure that only symptomatic plants were analyzed. The number of samples collected per province was determined based on the extent of lavender cultivation in each region (Table 1).

Table 1. Lavender production areas and number of samples by province (TSI, 2023).

Provinces	Production Area (da)			Number of samples
	2020	2022	2023	
Isparta	5596	8071	8262	37
Afyonkarahisar	3327	4625	4634	28
Burdur	2821	3443	3896	23
Denizli	1760	4143	5113	10
Total	13 504	20 282	21 905	98

Samples were obtained from six locations in Kuyucak Village (Isparta), five locations in Dinar District (Afyonkarahisar), five sites on the Burdur Mehmet Akif Ersoy University (MAKÜ) campus, and the Gündoğar lavender garden in Acıpayam (Denizli).

Fungal isolation and morphological identification

Fungal isolation was performed using standard mycological techniques. Small (4–5 mm) tissue segments were excised from symptomatic plant regions, surface-sterilized with 2% sodium hypochlorite (NaClO) for 2 minutes, and rinsed three times with sterile distilled water. The samples were then dried on sterile filter paper and placed onto Potato Dextrose Agar (PDA, Merck) plates, with five tissue segments per plate. Emerging fungal colonies were subcultured to obtain pure isolates.

For morphological identification, slide cultures were prepared on PDA medium and incubated at 25 °C for 5–15 days (Booth, 1977). Microscopic examinations were conducted to assess hyphal branching, phialides, microconidia, macroconidia, chlamydospores, and sporodochium structures. The sizes of conidia were measured under a Nikon Eclipse E100 microscope at 10x and 40x magnifications, with 30–50 macroconidia and 25 microconidia measured per species.

Fusarium species were identified based on their characteristic phialides, microconidia, macroconidia, and chlamydospores (Barnett and Hunter, 1972; Samson et al., 1995). *Rhizoctonia* species were determined according to vegetative hyphal characteristics and the number of nuclei per cell (Ogoshi, 1975; Bandoni, 1979). *Macrophomina* species were identified by colony morphology, mycelial structure, and microsclerotium formation (Ashby, 1927; Goidanich, 1947). *Epicoccum* species were classified based on their distinctive sporulation patterns and colony characteristics (Schol-Schwarz, 1959).

Pathogenicity tests and disease severity assessment

Pathogenicity tests were conducted using the most prevalent fungal isolates from each location. The pathogens were cultured on PDA medium supplemented with wheat substrate and incubated at 24 °C for 28 days, then stored at +4 °C for later use (Atakan, 2014).

Lavandula x intermedia ‘Super A’ seedlings (n=40) were planted in sterilized soil and arranged in a randomized block design, with three replicates per treatment. Sterile wheat culture portions (3 g each) were placed at the root collar of each seedling and covered with soil. Plants were irrigated as needed.

Disease severity was assessed using standard 1–5 and 0–3 rating scales for *Fusarium*, *Rhizoctonia*, and *Epicoccum* spp.:

Fusarium spp. disease severity scale (Prados-Ligero et al., 2007), (1–5 scale):

- 1 = Healthy plant
- 2 = Chlorosis in the lower part of the plant
- 3 = Chlorosis or wilting in the lower part and 1/3 of the plant
- 4 = Wilting symptoms observed in several leaves in the upper part of the plant
- 5 = Dead plant

Rhizoctonia spp. disease severity scale (Cartwright, 1995), (1–5 scale):

- 1 = No disease symptoms
- 2 = Less than 25% of the stem covered with lesions
- 3 = 26–50% of the stem covered with lesions
- 4 = 51–75% of the stem covered with lesions
- 5 = Stem completely surrounded by lesions or dead plant

Epicoccum spp. disease severity scale (Ambang et al., 2023), (0–4 scale):

- 0 = No disease symptoms
- 1 = Mild infection (1–25% of leaf area affected)
- 2 = Moderate infection (26–50% of leaf area affected)
- 3 = Severe infection (51–75% of leaf area affected)
- 4 = Very severe infection or plant death (76–100% of leaf area affected)

Disease severity percentages were calculated following Townsend and Heuberger (1943) using the formula:

$$\% \text{ Disease severity} = \frac{\sum(n.v)}{(N.V)} \times 100 \quad (1)$$

Where; n: scale value, v: number of plants corresponding to that scale value, N: highest scale value, V: total number of plants assessed.

Frequency of fungal pathogen isolation

The frequency of fungal pathogen isolation was calculated as the percentage of isolates belonging to each fungal genus among all collected samples (Spurr and Welty, 1972):

$$\% \text{ Frequency} = \frac{\text{Total number of isolates belonging to the genus}}{\text{Total number of isolates}} \times 100 \quad (2)$$

This calculation allowed for the determination of the most dominant fungal pathogens in each region.

Results and Discussion

Fungal isolates obtained from symptomatic lavender plants varied significantly across the surveyed provinces. *Fusarium* spp. was the most frequently isolated genus, particularly in Burdur (17.38%) and Isparta (11.58%), indicating that this pathogen may play a significant role in lavender decline in these regions. The frequency of *Fusarium* spp. was lower in Afyonkarahisar (5.92%) and Denizli (3.88%), suggesting possible environmental or host-related factors limiting its spread.

Epicoccum spp. was predominantly found in Denizli (7.03%) and Afyonkarahisar (6.47%), while *Alternaria* spp. showed the highest occurrence in Denizli (5.4%). The presence of *Rhizoctonia* spp. was confirmed only in Isparta (0.80%) and Afyonkarahisar (1.20%), whereas *Macrophomina* spp. was detected exclusively in Burdur (2.3%), suggesting a region-specific distribution pattern (Table 2).

Table 2. Genus-level frequency (%) of fungi isolated from survey areas.

Provinces	Frequency (%)					
	<i>Fusarium</i> spp.	<i>Rhizoctonia</i> spp.	<i>Epicoccum</i> spp.	<i>Macrophomina</i> spp.	<i>Alternaria</i> spp.	The others*
Isparta	11.58	0.80	4.22	-	3.00	6.18
Afyonkarahisar	5.92	1.20	6.47	-	5.30	4.34
Burdur	17.38	-	3.78	2.30	4.12	5.57
Denizli	3.88	-	7.03	-	5.40	2.75

*The "others" includes fungal genera requiring molecular confirmation for precise identification, which are not among those listed in Table 2.

The disease severity of fungal isolates was assessed on the 10th day of the pathogenicity tests using fungus-specific disease severity scales. The results are summarized in Table 3.

Table 3. Disease severity of fungal isolates in pathogenicity tests (%).

No	Isolate code	Fungus	Disease severity
1	T5-3-2p-2	<i>Fusarium</i> spp.	73.3
2	KU6221	<i>Fusarium</i> spp.	73.3
3	D1321	<i>Epicoccum</i> spp.	77.7
4	AF3623	<i>Rhizoctonia</i> spp.	80.0
5	KU1311	<i>Fusarium</i> spp.	66.6
6	AF2311	<i>Fusarium</i> spp.	70.0
7	D1811	<i>Fusarium</i> spp.	80.0
8	AF1321	<i>Fusarium</i> spp.	88.8
9	AF2411	<i>Epicoccum</i> spp.	83.3

Among the *Fusarium* spp. isolates, disease severity ranged from 88.8% to 66.6%, with the highest severity recorded for AF1321 (88.8%). *Epicoccum* spp. isolates caused disease severity of 77.7% (D1321) and 83.3% (AF2411), while *Rhizoctonia* spp. (AF3623) exhibited a severity of 80.0%.

These results suggest that *Fusarium* spp. isolates generally exhibited high pathogenicity on lavender plants, while *Epicoccum* spp. and *Rhizoctonia* spp. were also associated with significant disease severity. The observed symptoms, including stem lesions, vascular discoloration, and wilting, align with previous reports on fungal infections in lavender.

The fungal isolates obtained from symptomatic lavender plants in this study were identified as belonging to *Fusarium* spp., *Rhizoctonia* spp., and *Epicoccum* spp., all of which are known to be associated with plant diseases. Pathogenicity tests revealed that these fungal isolates caused significant disease severity on lavender, with *Fusarium* spp. generally exhibiting the highest levels of pathogenicity. The symptoms observed, including stem lesions, vascular discoloration, and wilting, align with previous reports of fungal infections affecting lavender and other medicinal plants.

Several studies have reported *Fusarium* spp. as a major pathogen in lavender cultivation. Ortu et al. (2018) identified *F. oxysporum* as the causal agent of vascular wilt in *Lavandula × allardii*, demonstrating its host specificity and ability to induce severe disease symptoms. Similarly, Wei et al. (2023) reported an outbreak of root rot caused by *F. foetens* in *L. angustifolia* fields in China, where the disease rapidly spread, affecting 80% of the cultivated area. The high disease severity observed in our study further supports the role of *Fusarium* spp. as an important pathogen in lavender, warranting further investigation into its epidemiology and management.

Rhizoctonia spp., another significant genus detected in this study, has also been previously reported as a destructive pathogen in lavender. Garibaldi et al. (2015) identified *R. solani* AG 1-IB as the causal agent of black stem rot in *L. stoechas* in Italy, where the disease led to rapid plant death. The ability of *R. solani* to spread aggressively and colonize plant tissues suggests that it could pose a similar threat to lavender production in Turkey. The observed 80% disease severity caused by *Rhizoctonia* spp. in this study indicates that this pathogen may contribute significantly to lavender decline in the surveyed regions.

Epicoccum spp., while often considered a secondary pathogen or endophyte, has recently been recognized for its potential to cause plant diseases under certain conditions. Gu et al. (2021) reported *E. sorghinum* as the causal agent of charcoal rot disease in *L. angustifolia* in China, where it was associated with widespread wilting and necrosis. In our study, *Epicoccum* spp. isolates caused disease severity levels of 83.3% and 77.7%, suggesting that these fungi may also have pathogenic potential in Turkish lavender fields.

The presence of these fungal pathogens in symptomatic lavender plants highlights the complex nature of fungal infections in lavender cultivation. The varying levels of disease severity among isolates suggest that multiple factors, including environmental conditions, host susceptibility, and fungal virulence, may influence disease development. Further research, particularly molecular characterization of isolates and field-based epidemiological studies, is necessary to understand the full extent of fungal threats to lavender production.

Conclusion

This study identified *Fusarium* spp., *Rhizoctonia* spp., and *Epicoccum* spp. as fungal pathogens associated with symptomatic lavender plants in Turkey. Pathogenicity tests revealed that *Fusarium* spp. isolates exhibited the highest disease severity, followed by *Epicoccum* spp. and *Rhizoctonia* spp.. The observed symptoms, including vascular discoloration, stem lesions, and wilting, indicate that these fungi may play a significant role in lavender decline.

Given the economic importance of lavender as a medicinal and aromatic crop, effective disease management strategies should be prioritized. These strategies may include: a) early detection and monitoring through fungal identification and pathogenicity screening, b) crop rotation and soil health management to reduce soilborne pathogen loads, c) use of resistant lavender cultivars, d) exploration of biological control agents to minimize fungal infections sustainably.

Future studies should focus on the epidemiology of these fungal pathogens, potential host resistance mechanisms, and sustainable disease management approaches. Implementing integrated disease management strategies will be essential to protect lavender production and ensure the sustainability of this economically valuable crop.

Acknowledgement

The authors would like to express their gratitude to Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection for their valuable contributions during the research and manuscript preparation. This study was supported by the TÜBİTAK 2211-C National Ph.D. Scholarship Program for Priority Fields in Science and Technology as part of doctoral research conducted at the Institute of Graduate Education.

Author Contributions

The authors equally contributed to the preparation of this paper.

Conflict of Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Ethics Committee Approval

As the authors of this study, we confirm that we do not have any ethics committee approval.

References

- Ambang, A. L., Kpu, K. A., & Annih, M. G. (2023). Influence of planting date on the incidence and severity of leaf spot disease in *Telfairia occidentalis* Hook f. *Agricultural Sciences*, 14(9), 1169–1178. <https://doi.org/10.4236/as.2023.149078>
- Ashby, S. F. (1927). *Macrophomina phaseolina* (Maub.) Comb. Nov., the pycnidial stage of *Rhizoctonia bataticola* (Taub.) Butl. *Phytopathology*, 17, 141–147.
- Atakan, A. (2014). *Antalya ili karanfil seralarında toprak kökenli fungal hastalık etmenlerinin belirlenmesi* [Determination of soil-borne fungal pathogens in carnation greenhouses of Antalya province] (Master's thesis, Süleyman Demirel University, Isparta, Turkey).
- Bandoni, R. J. (1979). Safranin-O as a rapid nuclear stain for fungi. *Mycologia*, 63, 873–874. <https://doi.org/10.2307/3759206>
- Barnett, H. L., & Hunter, B. B. (1972). *Illustrated Genera of Imperfect Fungi* (3rd ed.). Burgess Publishing Company, Minneapolis, MN, USA.
- Baydar, H. (2021). *Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Bilimi ve Teknolojisi* (Genişletilmiş 9. Basım). Nobel Akademik Yayıncılık.
- Beetham, J., & Entwistle, T. (1982). *The Cultivated Lavenders*. Royal Botanic Gardens, Melbourne, Australia.
- Booth, C. (1977). *Fusarium: Laboratory guide to the identification of the major species*. Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey, UK.
- Cartwright, D. K. (1995). Optimization of biological control of *Rhizoctonia* stem rot of poinsettia by *Paecilomyces lilacinus* and *Pseudomonas cepacia*. *Plant Disease*, 79, 301–308. <https://doi.org/10.1094/PD-79-0301>
- Ceylan, A. (1996). *Tıbbi Bitkiler-II (Uçucu Yağ Bitkileri)*. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, İzmir, Türkiye.
- Garibaldi, A., Bertetti, D., Pensa, P., Ortu, G., & Gullino, M. L. (2015). First report of web blight on butterfly lavender (*Lavandula stoechas*) caused by *Rhizoctonia solani* AG 1-IB in Italy. *Plant Disease*, 99(7), 1039–1039. <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-14-1157-PDN>
- Goidanich, G. (1947). A revision of the genus *M. phaseolina* Petrak. Type species: *M. phaseolina* (Tassi) Goid. *M. phaseolina* (Maubl.) Ashby. *Phytopathology*, 37, 449–461.
- Gu, C. Y., Pan, R., Abid, M., Zang, H. Y., Yang, X., & Chen, Y. (2021). First report of blackleg disease caused by *Epicoccum sorghinum* on lavender (*Lavandula stoechas*) in China. *Plant Disease*, 105(9), 2733. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-21-1433-PDN>
- Lis-Balchin, M. (2002). *Lavender: The Genus Lavandula*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

- Ogoshi, H. (1975). Grouping of *Rhizoctonia solani* Kühn and their perfect stages. *Review of Plant Protection Research*, 8, 98–103.
- Ortu, G., Bertetti, D., Gullino, M. L., & Garibaldi, A. (2018). *Fusarium oxysporum* f. sp. *lavandulae*, a novel forma specialis causing wilt on *Lavandula* × *allardi*. *Journal of Plant Pathology*, 100(3), 391–397. <https://doi.org/10.1007/s42161-018-0084-0>
- Palacioğlu, G., Ören, E., Baran, B., & Orak, A. B. (2024). First report of *Macrophomina phaseolina* causing charcoal rot on lavender (*Lavandula angustifolia*) in Turkey. *Journal of Plant Pathology*, 107, 743. <https://doi.org/10.1007/s42161-024-01747-4>
- Prados-Ligero, A. M., Basallote-Ureba, M. J., Lopez-Herrera, C. J., & Melero-Vara, J. M. (2007). Evaluation of susceptibility of carnation cultivars to *Fusarium* wilt and determination of *Fusarium oxysporum* f.sp. *dianthi* races in Southwest Spain. *HortScience*, 42(3), 596–599.
- Samson, R. A., Hoekstra, E. S., Frisvad, J. C., & Filtenborg, O. (1995). *Introduction to Food-Borne Fungi* (4th ed.). Centraalbureau voor Schimmelcultures, Baarn, The Netherlands.
- Schol-Schwarz, M. B. (1959). The genus *Epicoccum* Link. *Transactions of the British Mycological Society*, 42(2), 149–153.
- Sherwood, R. T. (1969). Morphology and physiology in four anastomosis groups of *Thanatephorus cucumeris*. *Phytopathology*, 59(12), 1924–1929.
- Spurr, H., & Wetly, R. E. (1972). Incidence of tobacco leaf microflora in relation to brown spot disease and fungicidal treatment. *Phytopathology*, 62, 916–920.
- Townsend, G. K., & Heuberger, J. W. (1943). Methods for estimating losses caused by diseases in fungicide experiments. *Plant Disease Report*, 27, 340–343.
- Turkish Statistical Institute (TSl). (2023). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). Retrieved May 19, 2023, from <https://www.tuik.gov.tr/>
- Upson, T., & Andrews, S. (2004). *The Genus Lavandula* (1st ed.). Timber Press, Portland, OR, USA.
- Wei, X. J., Jia, B. G., Wang, X., Li, N. Y., Wang, S. N., Li, L., ... & Wang, L. P. (2023). First report of *Fusarium foetens* causing root rot on lavender (*Lavandula angustifolia*) in China. *Journal of Plant Pathology*, 105(3), 1173–1174. <https://doi.org/10.1007/s42161-023-01371-8>

Farklı Bölgelerden Toplanan *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) Popülasyonlarının Bazı Akarisitlere Direnç Oranları, Esteraz ve GST Enzim Aktiviteleri

Ayşegül KARABIYIK¹  Recep AY¹ ¹ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü ISPARTA -TÜRKİYE

Öz

Tetranychus urticae sebzeler, süs bitkileri, elma, pamuk gibi bitkilerde ekonomik kayıp oluşturan en önemli zararlı türlerden biridir. Üreticiler bu türün mücadelesinde genellikle kimyasal mücadeleyi tercih etmektedirler. *T. urticae* yılda verdiği döl sayısının fazla olması ve yüksek üreme kapasitesi nedeniyle kullanılan akarisitlere karşı direnç geliştirmektedir. Bu tür farklı bölgelerde farklı akarisit uygulamalarına maruz kalmaktadır. Bu nedenle direnç gelişimi ve detoksifikasyon mekanizmaları bölgelere göre değişiklik göstermektedir. Bu çalışmada Isparta, Antalya ve Aydın illerinde bulunan seralardan alınan 3 *T. urticae* popülasyonunun abamectin, bifenazate ve acequinocyl'e direnç oranları ilaçlama kulesi-yaprak disk metodu ile belirlenmiştir. Hassas popülasyon (GSS), Isparta, Antalya ve Aydın illerinden toplanan popülasyonların LC₅₀ değerleri abamectin için sırasıyla 0.07, 0.02, 1.31 ve 2.34 mg a.i./l, bifenazate için 1.35, 1.59, 5.68 ve 6.64 mg a.i./l ve acequinocyl için 2.70, 8.48, 6.81 ve 11.65 mg a.i./l olmuştur. Bu popülasyonların naftil asetat ile esteraz enzim ve 1-chloro-2,4-dinitrobenzene (CDNB) ile glutatyon S-transferazlar (GST) enzim aktiviteleri kinetik olarak mikropilaka okuyucuda bulunmuştur. Esteraz enzimi GSS, Isparta, Antalya ve Aydın ili popülasyonlarında sırasıyla 5.03, 9.30, 6.90 ve 1047 mOD min⁻¹ mg⁻¹ protein ve GST enzimleri de 7.24, 6.03, 6.54 ve 7.21 mOD min⁻¹ mg⁻¹ protein olmuştur. Popülasyonların LC₅₀ değerleri, esteraz ve GST enzim aktiviteleri bölgelere göre değişiklik göstermiştir.

Article Info

Received:28.03.2025

Accepted:23.05.2025

Anahtar Kelimeler

Akarisit
Esteraz
GST
Tetranychus urticae

Resistance Rates to Some Acaricides, Esterase and GST Enzyme Activities of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) Populations Collected from Different Regions

Abstract

Tetranychus urticae is one of the most important pest species that cause economic losses in vegetables, ornamental plants, apples and cotton. Farmers generally prefer chemical control in the control of this species. *T. urticae* develops resistance to commonly used acaricides due to its high number of offspring per year and high reproductive capacity. This species is also exposed to various acaricide applications in different regions. Therefore, resistance development and detoxification mechanisms vary according to different regions. In this study, resistance ratios of 3 *T. urticae* populations collected from greenhouses in Isparta, Antalya and Aydın provinces to abamectin, bifenazate and acequinocyl were determined by spray tower-leaf disc method. The LC₅₀ values of the populations collected from susceptible population (GSS), Isparta, Antalya and Aydın were 0.07, 0.02, 1.31 and 2.34 mg a.i./l for abamectin, 1.35, 1.59, 5.68 and 6.64 mg a.i./l for bifenazate and 2.70, 8.48, 6.81 and 11.65 mg a.i./l for acequinocyl, respectively. The activities of esterase enzyme with α -naphthyl acetate and glutathione S-transferases (GST) with 1-chloro-2,4-dinitrobenzene (CDNB) of these populations were found kinetically in a microplate reader. Esterase enzymes were 5.03, 9.30, 6.90 and 1047 mOD min⁻¹ mg⁻¹ proteins and GST enzymes were 7.24, 6.03, 6.54 and 7.21 mOD min⁻¹ mg⁻¹ proteins in the populations of GSS, Isparta, Antalya and Aydın provinces, respectively. LC₅₀ values, esterase and GST enzyme activities of the populations varied according to the regions.

Keywords

Acaricide
Esterase
GST
Tetranychus urticae

 Corresponding Author
recepay@isparta.edu.tr

Giriş

Tarımsal ürünlerinin üretimi sırasında en önemli sorunlarından birisi ekonomik kayıp oluşturan zararlı türleri ve bunların savaşıdır. *T. urticae* Koch (iki noktalı kırmızı örümcek) (Acari: Tetranychidae) dünyada birçok tarım ürünüde verim ve kalite kaybına neden olan önemli bir zararlıdır (Helle ve Sabelis, 1985). Bugüne kadar, bu zararlı için dünya genelinde sera ve tarlada üretilen ürünlerde 1271 konukçu bitki türü kaydedilmiştir (Migeon ve Dorkeld, 2007). Nimf ve erginleri konukçu bitkilerde bitki özsuğunu emerek önemli verim kayıplarına neden olmaktadır (Sances vd., 1982). Sahip oldukları biyolojileri ve kullanılan akarisitlere kısa sürede direnç geliştirmeleri nedeniyle, tarımsal üretim’de mücadelesi en zor zararlılardan birisidir (Van Leeuwen vd., 2010; Dittmann ve Schausberger, 2017; Chen vd., 2022).

Tetranychus urticae, konukçu bitki ve çevresel koşullar uygun olduğunda yılda birden fazla döl verebilmektedir (Tirello vd., 2012; Sandeepa vd., 2019). *T. urticae* bu özellikleri nedeniyle farklı ekolojik koşullara adapte olabilmekte ve dünya üzerinde dağılım göstermektedir (Migeon ve Dorkeld, 2007). Bu zararlının olduğu agroekosistemlerde farklı zararlılar da bulunmaktadır. Farklı agroekosistemler’de aynı bitkiler yetiştirilse bile ekolojiye göre zararlı tür kompozisyonu ve uygulanan mücadele yöntemleri de değişmektedir. Ülkemizde olduğu gibi dünyada da zararlıların mücadelesinde genellikle kimyasal mücadele yöntemleri tercih edilmektedir (Attia vd., 2013; Ay vd., 2024). Zararlı türlerin yoğunluğu ve zarar oranları bölgelere göre değişmektedir. Dolayısı ile kullanılan pestisitlerin kullanım sıklığı da bölgelere göre değişmektedir.

Çalışmada Isparta, Antalya ve Aydın ilinde bulunan seralardan toplanan birer *T. urticae* popülasyonun abamectin, bifenazate ve acequinocyl’e gösterdikleri direnç oranları, glutatyon S-transferazlar ve esteraz enzim aktivite düzeyleri incelenmiştir. Bu çalışmada kullandığımız *T. urticae* örneklerini topladığımız 2023 yılında Antalya’da kullanılan toplam pestisit miktarı 4 460 580 kg-lt, Aydın’da 1 980 194 kg-lt ve Isparta’da 1 424 769 kg-lt’dir (Anonim, 2023). Bu illerde ekilen tarım alanlarının büyüklükleri ve yetiştirilen kültür bitkileri arasında farklılıklar vardır. Bu nedenle kullanılan pestisit miktarları arasında da önemli farklılıklar görülmektedir.

Çalışmada kullanılan Abamectin avermektin B1a ve B1b’den oluşan ve merkezinde bir makrosiklik lakton bulunan kompleks bir yapıya sahiptir. Nörotoksik mekanizması, gama-aminobütirik asit (GABA) ve glutamat (GluCl) tarafından düzenlenen klorür kanallarını bozar, akar ve böceklerde sinirlerin aşırı uyarımına ve ardından felce neden olur (Quintela vd., 2025). Bifenazate ve acequinocyl kontak etkili akarisitlerdir (Cloyd, 2010). Acequinocyl ve bifenazate böcek ve akarlarda mitokondriyal kompleks III’ü inhibe ederek hücreler tarafında enerji kullanımını engeller (Van Nieuwenhuysse vd., 2009; Van Leuween vd., 2015; IRAC, 2025).

Bu çalışma farklı ekolojik koşullara sahip üç ilden alınan iki noktalı kırmızı örümcek *T. urticae* popülasyonu üç farklı akarisit direnç oranları ve esteraz ve GST enzim aktiviteleri arasındaki fark incelenmiştir.

Materyal ve Metot

Çalışmanın ana materyalini Isparta, Antalya ve Aydın illerinden toplanan *T. urticae* popülasyonları (Tablo 1) ve acequinocyl, bifenazate, abamectin aktif maddeli akarisitler oluşturmuştur. Çalışmada tarla popülasyonlarının direnç oranlarını belirlemek için uzun süredir akarisit uygulamadan üretimi devam ettirilen hassas *T. urticae* (GSS) popülasyonu kullanılmıştır. Bu popülasyon 2001 yılında Rothamstad Experimental Station (İngiltere)’dan elde edilmiştir ve 1964 yılından bu yana pestisit uygulanmayan bir ortamda yetiştirilmektedir. Çalışmada acequinocyl’in SC formülasyonu (156 g/L, kanemite, Sumi Agro), bifenazate’nin SC formülasyonu (240 g/L, floromite, Hektaş) ve abamectin’in EC formülasyonu (18 g/L, Agrimec, Syngenta) kullanılmıştır.

Tetranychus urticae popülasyonları 26±2 °C sıcaklıkta %60±5 orantılı nem ve 16 saat aydınlık, 8 saatlik karanlık koşullarda barbunya bitkileri üzerinde üretilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan *Tetranychus urticae* popülasyonlarının özellikleri.

Toplanan İl	Toplanan İlçe	Konukçu Bitki	Ortam	Toplandığı Tarih
Antalya	Kumluca	Fasulye	Sera	15.09.2023
Isparta	Merkez	Barbunya	Sera	25.08.2023
Aydın	Germencik	Biber	Sera	29.04.2024

Biyoassay çalışmaları

Acequinocyl, bifenazate ve abamectin aktif maddeli akarisitler kırmızı örümceklerin yumurta, larva, nimf ve ergin evrelerinde etkilidirler. Çalışmada bu akarisitler ergin dişi bireylere uygulanmıştır. *T. urticae*'de akarisitlerin LC değerlerini belirlemek için ön çalışmalarla popülasyonlarda en yüksek ölüm (% 90-99) veren konsantrasyonlar belirlenmiştir. En yüksek konsantrasyon her seferinde ½ oranında saf su ile seyreltilerek en az 6 konsantrasyon serisi elde edilmiştir. Bu konsantrasyonlar popülasyonlarda % 10 ve % 90-99 ölüm verecek şekilde belirlenmiştir. Çalışma üç tekerrürlü olacak şekilde yürütülmüştür.

Akarisitlerin uygulanması için deneme petrilere hazırlanmıştır. Bunun için öncelikle 6 cm çapındaki petrilere tabanına pamuk yerleştirilmiştir ve sonra saf su ile pamuk ıslatılmıştır. Petri kabı içindeki ıslak pamuğun üzerine 4 cm çapında barbunya yaprağı diski alt yüzeyi üste gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Yaprak disklerin üzerine yaklaşık 20-25 ergin dişi birey stereo mikroskop yardımıyla bir fırça ile aktarılmıştır. Bu petrilere ilaçlama kulesi ile akarisitlerin hazırlanan konsantrasyonlarının 2 ml'si (kontrole sadece saf su) 1 bar basınç altında püskürtülmüştür. Akarisit uygulanmış petrilereki yaprak diskler 30 dk. kurutulmaya bırakılmış ve daha sonra 26 ± 2°C sıcaklık, % 60±5 nem ve 16:8 aydınlık: karanlık olan akar üretim odasına bırakılmıştır. Ölü ve canlı bireylerin belirlenmesi akarisit uygulamasından 48 sa. sonra yapılmıştır. POLO bilgisayar paket programın (LeOra Software, 1994) ile ölüm verilerinden yararlanılarak popülasyonların LC₅₀ ve LC₉₀ değerleri belirlenmiştir. Sera popülasyonlarının LC₅₀ değeri GSS popülasyonun LC₅₀ değerine bölünerek direnç oranları belirlenmiştir. Direnç oranları (RR) Koh et al (2009) 'ye göre şu şekilde sınıflandırılmıştır: düşük direnç, RR≤10; orta direnç, 10<RR≤40; yüksek direnç, 40<RR≤160; çok yüksek direnç, 160<RR.

Biyokimyasal çalışmalar

Tetranychus urticae popülasyonlarında esteraz enzimi aktivitesinin belirlenmesi

Esteraz aktivitesinin incelenmesinde substrat olarak α-naftil asetat (α-NA) kullanılarak, mikrolaka okuyucuda Stumpf ve Nauen, (2002)'in uyguladıkları yöntem kullanılmıştır. Bu amaçla 20 adet dişi birey 100 µl (0.1M, pH 7.5 ve % 0.1 Triton X-100 içeriyor) sodyum fosfat buffer içinde eppendorf tüplerde ezilerek homojenize edilmiştir ve daha sonra 10 kat sulandırılmıştır. Bu homojenat santrifüj'de + 4 °C' de 5 dk. 10000 g'de santrifüj edilmiştir. Elde edilen supernatant enzim kaynağı olarak kullanılmıştır. Düz tabanlı 96 hücreli mikrolakanın her bir hücresine 25 µl supernatant, 25 µl 0.2 M (pH 6) fosfat buffer eklenmiştir. Reaksiyon başlatmak için 200 µl substrat solüsyonunun eklenmiştir. Substrat solüsyonu 15 mg Fast blue RR'nin 25 ml 0.2 M sodyum fosfat buffer' da çözülmesi ve 250 µl 100 Mm α-NA in ilave edilmesiyle oluşturulmuştur. Enzim aktivitesi mikrolaka okuyucuda (Versamax mikrolaka okuyucu, Molecular Devices) 450 nm' de 23 °C'de 10 dakika kinetik olarak belirlenmiştir. Kontrol hücrelerine homojenat konmadan okuma yapılmıştır. Çalışma dört tekerrürlü olarak yürütülmüştür.

Tetranychus urticae popülasyonlarında GST enzimi aktivitesinin belirlenmesi

Akar örneklerinde GST enzim aktivitesinin ölçülmesinde Stumpf ve Nauen,(2002)' in kullandıkları yöntem uygulanmıştır. Bunun için 50 *T. urticae* ergin dişisi 500 µl Tris HCL buffer (0.05M, pH 7.5) içeren eppendorf tüplerde homojenize edilmiştir. Ba homojenatlar santrifüjde + 4 °C' de 5 dk. 10000 g'de santrifüj edilmiştir. *T. urticae* popülasyonlarının GST enzim aktivitelerinin belirlenmesi için düz tabanlı 96 hücreli mikrolakanın her bir hücresine 100 µl homojenat, 100 µl CDNB ve 100 µl reduced glutathione (GSH) eklenmiştir. CDNB etanolde (% 0.1) çözündürülmüştür ve final konsantrasyonunda 0.4 mM CDNB olması

sağlanmıştır. GSH tris HCL bufferda çözölmüş ve final konsantrasyonunda 4 mM GSH olması sağlamıştır. GST enzim aktivitesi mikropılaka okuyucuda (Versamax mikropılaka okuyucu, Molecular Devices) 340 nm de 25 °C de 5 dk' da fotometrik olarak okunmuştur. Kontrol hücrelerinde homojenat eklenmemiştir, CDNB ve GSH eklenerek okuma yapılmıştır. Denemeler 4 tekerrürlü olarak yürütölmüştür.

Esteraz ve GST enzim aktivitelerinin toplam protein miktarının belirlenmesinde Bradford (1976) yöntemi kullanılmıştır. Her bir popölasyon için enzim aktivitelerinin istatistiksel analizi SPSS versiyon 23.0 paket programı kullanılarak ANOVA ile analiz edilmiştir. Ortalamalar arasındaki farkı belirlemek için Tukey çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır ($P < 0.05$).

Bulgular ve Tartışma

Biyoassay çalışma sonuçları

Farklı bölgelerden toplanmış *Tetranychus urticae* popölasyonlarının LC_{50} değeri bölge ve akarisitlere göre değışmiştir (Tablo 2, 3 ve 4).

Tablo 2'de göröldüğü gibi abamectin için *T. urticae*'nin GSS, Isparta, Antalya ve Aydın popölasyonlarının LC_{50} değeri sırasıyla 0.07, 0.02, 1.31 ve 2.34 mg a.i./l olmuştur. LC_{50} değeri popölasyonlara göre önemli değışiklikler göstermiştir. GSS popölasyona göre Isparta popölasyonu düşük bir LC_{50} değeri sahipken, Antalya ve Aydın popölasyonlarının direnç oranları 18.71 ve 33.43 kat bulunmuştur. Abamectin LC_{50} güven aralıklarına göre popölasyonlar birbirinden önemli derecede farklılık göstermiştir ($P < 0.05$).

Tablo 3 incelendiğinde bifenazate'e *T. urticae*'nin GSS, Isparta, Antalya ve Aydın popölasyonlarının LC_{50} değeri sırasıyla 1.35 1.59, 5.68 ve 6.64 mg a.i./l olmuştur. Bifenazate LC_{50} değeri popölasyonlara göre önemli değışiklikler göstermiştir. En küçük LC_{50} değeri Isparta popölasyonunda gözlemlenirken, onu Antalya ve Aydın popölasyonlarının LC_{50} değeri izlemiştir. GSS popölasyonuna göre Isparta popölasyonu bifenazate 1.18, Antalya popölasyonu 4.21, Aydın popölasyonu 4.92 kat direnç göstermiştir. Bifenazete LC_{50} güven aralıklarına göre Antalya ve Aydın popölasyonları arasında önemli bir farklılık yokken, bu popölasyonlar Isparta popölasyonunda önemli derecede farklı olmuştur ($P < 0.05$).

Tablo 4 incelendiğinde acequinocyl'e *T. urticae*'nin GSS, Isparta, Antalya ve Aydın popölasyonlarının acequinocyl LC_{50} değeri sırasıyla 2.70, 8.48, 6.81 ve 11.65 mg a.i./l olmuştur. GSS popölasyona göre Isparta popölasyonu acequinocyl'e 3.14, Antalya popölasyonu 2.52, Aydın popölasyonu 4.31 kat direnç göstermiştir. Acequinocyl LC_{50} güven aralıklarına göre sera popölasyonlarının LC_{50} değeri arasında önemli bir fark yoktur ($P > 0.05$). Ancak Acequinocyl LC_{50} güven aralıklarına göre bütün sera popölasyonun LC_{50} değeri, hassas GSS popölasyonun LC_{50} değerinden önemli derecede farklı olmuştur ($P < 0.05$).

Tablo 2. *Tetranychus urticae* popölasyonlarının abamectin'e göstermiş oldukları biyoassay sonuçları.

Popölasyon	n	Eğim±SD	χ^2/SD	LC_{50} (mg a.i./l) (GA %95)	LC_{90} (mg a.i./l) (GA %95)	RR
GSS	521	1.91±0.18	2.96/4	0.07 0.06-0.09	0.34 0.27-0.47	0.29 18.71 33.43
Isparta	412	2.88±0.36	7.43/4	0.02 0.01-0.03	0.06 0.04-0.14	
Antalya	1097	2.10±0.25	15.09/8	1.31 0.90-1.72	5.38 3.72-11.02	
Aydın	527	2.02±0.25	2.846/4	2.34 1.78-2.91	10.38 7.71-15.56	

n:Denemede kullanılan birey sayısı; χ^2 : ki kare değeri; S.D: serbestlik derecesi; G.A: Güven aralığı; a.i.; aktif madde; RR: Tarla popölasyonlarının LC_{50} değeri /Hassas GSS popölasyonu LC_{50} değeri.

Tablo 3. *Tetranychus urticae* popülasyonlarının bifenazate'e göstermiş oldukları biyoassay sonuçları.

Popülasyon	n	Eğim±SD	X2/SD	LC50 (mg a.i./l) (GA %95)	LC90 (mg a.i./l) (GA %95)	RR
GSS	419	2.70±0.30	1.93/4	1.35 1.07-1.64	4.04 3.26-5.35	
Isparta	480	2.66±0.28	6.12/4	1.59 1.03-2.16	4.81 3.45-8.27	1.18
Antalya	419	3.07±0.35	1.79/3	5.68 4.69-6.69	14.88 12.24-19.46	4.21
Aydın	401	2.64±0.48	2.38/4	6.64 4.75-8.38	20.29 15.21-33.96	4.92

n : Denemede kullanılan birey sayısı; X2: ki kare değeri; S.D: serbestlik derecesi; G.A: Güven aralığı; a.i.; aktif madde; RR: Tarla popülasyonlarının LC50 değeri /Hassas GSS popülasyonu LC50 değeri.

Tablo 4. *Tetranychus urticae* popülasyonlarının acequinocyl'e göstermiş oldukları biyoassay sonuçları.

Popülasyon	n	Eğim±SD	X2/SD	LC50 (mg a.i./l) (GA %95)	LC90 (mg a.i./l) (GA %95)	RR
GSS	447	2.99±0.39	2.72/4	2.70 2.17-3.20	7.25 5.91-9.77	
Isparta	683	2.49±0.31	10.12/6	8.48 5.26-11.24	27.75 20.72-46.62	3.14
Antalya	485	2.01±0.22	2.95/4	6.81 5.22-8.57	29.66 22.29-43.92	2.52
Aydın	476	3.09±0.48	4.97/4	11.65 6.97-15.44	30.31 22.30-58.62	4.31

n : Denemede kullanılan birey sayısı; X2: ki kare değeri; S.D: serbestlik derecesi; G.A: Güven aralığı; a.i.; aktif madde; RR: Tarla popülasyonlarının LC50 değeri /Hassas GSS popülasyonu LC50 değeri.

Biyokimyasal çalışma sonuçları

Tetranychus urticae GSS, Isparta, Antalya ve Aydın popülasyonlarının esteraz enzim aktiviteleri sırasıyla 5.03, 9.30, 6.90 ve 10.47 mOD min⁻¹ mg⁻¹ protein olmuştur. Esteraz aktivitesi en az Antalya, en fazla ise Aydın popülasyonunda olmuştur. Hassas GSS popülasyonuna göre Antalya popülasyonun esteraz enzim aktivitesi 1.37 kat, Isparta popülasyonunki 1.85 kat ve Aydın popülasyonunki 2.08 kat olmuştur. Her üç tarla popülasyonun esteraz enzim aktivitesi hassas popülasyonun esteraz enzim aktivitesinden istatistiki olarak önemli derecede yüksek çıkmıştır (P<0.05). Isparta ve Aydın illerinden toplanan popülasyonların enzim aktiviteleri de birbiri ile aynı seviyede olurken, Antalya popülasyonundan önemli derecede farklı çıkmıştır (P<0.05)(Tablo 5).

Tetranychus urticae GSS, Isparta, Antalya ve Aydın popülasyonlarının GST enzim aktiviteleri sırasıyla 7.24,6.03,6.54 ve7.21 mOD min⁻¹ mg⁻¹ protein olmuştur. Hassas GSS; Antalya ve Aydın popülasyonların GST enzim aktivitesi hassas popülasyonla istatistiki olarak aynı seviyede çıkarken, Isparta popülasyonun GST aktivitesi hassas GSS ve Aydın popülasyonuna göre daha az olmuştur (P<0.05) (Tablo 5).

Tablo 5. *Tetranychus urticae* popülasyonlarının esteraz ve GST enzim aktiviteleri.

Popülasyon	Esteraz mOD min ⁻¹ mg ⁻¹ proteins	R/S	GST mOD min ⁻¹ mg ⁻¹ proteins	R/S
GSS	5.03±0.08 c		7.24±0.21 a	
Isparta	9.30±0.23 a	1.85	6.03±0.16 b	-
Antalya	6.90±0.32 b	1.37	6.54±0.18 ab	-
Aydın	10.47±0.44 a	2.08	7.21±0.19 a	-

R/S: Sera popülasyonlarının enzim aktivitesi/ Hassas GSS popülasyonun enzim aktivitesi, .

Tarımsal üretimde zararlılarla savaşmada en çok tercih edilen savaşım yöntemi hala kimyasal savaşımdır. Bu savaşım yönteminin birçok olumsuz yönleri vardır. Bunlardan birisi de kırmızı örümcekler, yaprakbitleri, beyazsinek ve tripsler gibi yılda çok döl veren zararlı türlerin kullanılan insektisitlere/akarisitlere direnç geliştirmesidir (Ünal Bahşi vd., 2012; Çağatay vd. 2018; Kamış ve Dağlı, 2022; Demiröz ve Atış, 2023). Ancak her bölgede zararlı türlerin maruz kaldığı kimyasal uygulamalar farklı olduğu için seleksiyonları da farklı olabilmektedir. Üç farklı ekolojik koşula sahip ilden toplanan *T. urticae*

popülasyonun abamectine tepkileri birbirinden farklı olmuştur. Tarımsal üretim sırasında yoğun pestisit kullanılan Aydın ve Antalya popülasyonları abamectine orta direnç göstermiştir. Ancak en çok pestisit kullanıldığı Antalya ilinden toplanan *T. urticae* popülasyonu, daha az pestisit kullanılan Aydın ilinden toplanan popülasyonuna göre daha az bir direnç göstermiştir ve LC₅₀ güven aralıklarına göre aradaki fark önemli olmuştur. Diğer illere göre daha az pestisit kullanılan Isparta ilinden toplanan *T. urticae* popülasyonunda ise abamectine hassas GSS popülasyonundan daha duyarlı olmuştur. Ay (2006)'ın Antalya ili örtüaltı sebzelerinde topladığı 5 adet *T. urticae* popülasyonunun direnç oranı 1.07-1.82 kat arasında değişmiştir. Sökeli vd. (2007) Isparta elma bahçelerinden topladıkları 9 adet *T. urticae* popülasyonunda abamectin'e <1-1.4 kat arasında direnç oranı belirlemişlerdir. Yorulmaz Salman ve Kaplan (2014) Isparta'dan domates seralarından topladıkları *T. urticae* popülasyonlarının abamectin'e 8.36-25.26 kat direnç gösterdiğini belirtmişlerdir. Turan vd. (2016) Antalya ili kavun seralarından topladıkları 20 adet *T. urticae* popülasyonunun direnç oranının 8.44-26.56 kat arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Bu literatür verilerine göre 2000'li yılların başında Isparta ve Antalya popülasyonlarında belirlenen abamectin direnç oranları sonraki çalışmalarda artmıştır. Bizim Antalya ilinden aldığımız popülasyonun sonucu literatür sonuçları ile uyumludur. Ancak Isparta popülasyonu abamectine hassas popülasyondan da daha duyarlı bulunmuştur. Bunun nedeni Isparta popülasyonu daha az akarisit baskısına maruz kalmış olabilir veya farklı bir etki mekanizmasına sahip akarisitler uygulanmış olabilir.

Popülasyonların bifenazate duyarlılık düzeyleri de farklı olmuştur. Isparta ili popülasyonunun bifenazate duyarlılık durumu LC₅₀ güven aralıklarına göre hassas popülasyon ile benzer olmuştur. Aydın ile Antalya ili popülasyonlarının direnç oranları LC₅₀ değeri güven aralığına göre benzer bulunmuştur. Altıok (2012) Antalya ilinden topladığı 10 *T. urticae* popülasyonunun bifenazate direnç oranının <1-1.32 kat arasında değiştiğini bulmuştur. Demirci (2023) Antalya ili örtü altı sebzelerinden topladığı 8 adet *T. urticae* popülasyonunun 4 adedinin bifenazate karşı düşük direnç oranına (1.7-5.5 kat), 2 adedinin orta direnç oranına (21.2-32.7 kat), 3 adedinin 'de çok yüksek direnç oranına sahip olduğunu belirtmiştir.

Her üç ilden de toplanan *T. urticae* popülasyonları acequinocyl'e hassas GSS popülasyonuna göre düşük oranda direnç göstermiştir. Ancak LC₅₀ güven aralığına göre sera popülasyonları acequinocyl'e benzer tepki göstermiştir. Altıok (2012) Antalya ilinden topladığı 10 *T. urticae* popülasyonunun acequinocyl direnç oranının 1.24-2.54 kat arasında değiştiğini belirtmiştir. Demirci (2023) Antalya ili örtü altı sebzelerinden topladığı 8 adet *T. urticae* popülasyonunun 24 saatlik acequinocyl LC₅₀ değerine göre 5 popülasyonunun düşük direnç oranı (1.57-6.5 kat), 1 popülasyonunun orta direnç oranı (10.5 kat), 2 popülasyonunda çok yüksek direnç oranı (153.4-257.2 kat) gösterdiğini belirtmiştir.

Popülasyonların esteraz ve GST enzim aktiviteleri incelendiğinde, esteraz enzimi aktivitesi her üç ilin popülasyonunda da hassas GSS popülasyonuna göre yüksek çıkmıştır. GST enzim aktivitesi ise Aydın, Antalya ve GSS popülasyonu da istatistiki olarak aynı seviyede, Isparta popülasyonunda is daha düşük olmuştur. Bugüne kadar tanımlanan insektisit/akarisit ana direnç mekanizmaları ya insektisit hedefli bölgelerde nokta mutasyonu ve/veya daha etkili detoksifikasyon mekanizmalarını içermektedir (Van Leeuwen vd., 2010; Montella vd., 2012). Metabolik direnç olarak da bilinen ikincisi, temel olarak üç ana enzim ailesinin (esterazlar (EST), glutatyon-S-transferazlar ve sitokrom P450 süper enzim ailesi) ekspresyonu veya aktivitesindeki artış nedeniyle ortaya çıkmaktadır (Montella vd., 2012). Mutant esterazları, böcekler ve akarlarda organikfosforlu, karbamatlı ve sentetik piretroidli insektisitlere karşı hedef bölge ve/veya metabolik dirençle sıklıkla ilişkilendirilmiştir (Montella vd., 2012). *T. urticae*'de Ay ve Gürkan (2005) bifenthrin direnci ile, Yorulmaz-Salman ve Sarıtaş (2014) acequinocyl direnci ile esteraz enzimi arasında ilişki bulmuştur. Rauch ve Nauen (2003) spirodiclofen ile selekte ettikleri *T. urticae* popülasyonunda esteraz, GST ve P450 enzim aktivitelerinin arttığını bildirmişlerdir. Arthropod'larda GST'ler, kimyasalların doğrudan metabolizması veya sekestrasyonu yoluyla, aynı zamanda insektisit maruziyetinin neden olduğu oksidatif strese karşı koruma sağlayarak dolaylı olarak direnç kazandırır. Bugüne kadar, GST aktivitesi tüm ana insektisit sınıflarına karşı direnç ile ilişkilendirilmiştir (Pavlidis vd., 2018).

Yapılan bu çalışmada farklı bölgelerden toplanan *T. urticae* popülasyonların akarisitlere farklı tepki göstermiştir, esteraz enzimi ve GST enzim aktiviteleride popülasyonlara göre farklı bulunmuştur. Bu sonuçlar farklı ekolojik koşullara sahip ilerde üreticilerin farklı akarisitleri tercih ettiklerini ve farklı sıklıkta akarisit uyguladıklarını göstermektedir. Bu nedenle farklı akarisit uygulamasına maruz kalan popülasyonlarda da farklı detoksifikasyon mekanizmalarının gelişmelerine neden olduğunu işaret etmektedir. Ancak kesin kaniya varmak için daha ayrıntılı çalışmalara ihtiyaç vardır.

Sonuç

Sonuç olarak *T. urticae* popülasyonlarının aynı bölge toplandıklarında bile akarsitlere gösterdikleri tepkiler ve detoksifikasyon enzim aktiviteleri arasında farklılıklar olmaktadır. Bizim elde ettiğimiz sonuçlara göre de *T. urticae* popülasyonlarının farklı bölgelerde farklı akarsitlere maruz kalması, akarsitlerin farklı sıklıkta uygulanması nedeniyle akarsitlere duyarlılıkları ve detoksifikasyon enzim aktiviteleri de farklı olmuştur. Direnç yönetim programları oluşturulurken bu durumun dikkate alınmasında yararlı olacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK 2209 A projeleri kapsamında desteklenmiştir.

Yazar Katkı Oranları

Ayşegül KARABIYIK deneyleri yapmıştır, sonuçları analiz etmiştir, makalenin ilk halini yazmıştır. Recep AY yöntemleri belirlemiştir, makalenin son halini gözden geçirmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Bu çalışmada çıkar çatışması yoktur.

Etik Kurul Onayı

Etik Kurul onayına gerek yoktur.

Kaynaklar

- Altıok, Y. (2012). Antalya ili örtü altı sebze üretim alanlarında zararlı olan *Tetranychus urticae* Koch.(Acari: Tetranychidae)'nin bazı akarisitlere karşı duyarlılık düzeylerinin incelenmesi (Yüksek Lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Anonim (2023). İl Düzeyinde Bitki Koruma Ürünlerinin Kullanım (Zirai Mücadele Uygulamalarında) Miktarları https://www.tarimorman.gov.tr/GKGM/Belgeler/DB_Bitki_Koruma_Urunleri/Istatistik/Il_Duzeyinde_BKU_Kullanim_Miktar_2023.pdf (Erişim Tarihi:03.03.2025)
- Attia, S., Grissa, K. L., Lognay, G., Bitume, E., Hance, T., & Mailleux, A. C. (2013). A review of the major biological approaches to control the worldwide pest *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) with special reference to natural pesticides. *Journal of Pest Science*, 86, 361-386.
- Ay, R. (2006). Antalya İli Örtüaltı Sebze Üretim Alanlarında Zararlı Olan *Tetranychus urticae* Koch Popülasyonlarının Bazı Akarisitlere Karşı Tepkileri. *A.Ü. Ziraat Fak. Tarım Bilimleri Dergisi*, 12 (3) 301-306. https://doi.org/10.1501/Tarimbil_0000000466
- Ay, R., & Gürkan M. O. (2005). *Tetranychus urticae* Koch (Acari Tetranychidae)'nin değişik popülasyonlarının iki selektif akarSITE karşı duyarlılıkları ve duyarlılık mekanizmaları üzerinde araştırmalar. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 11, 217-223.
- Ay, R., Çevik, B., & Alsay, S. (2024). The roles of the biochemical and molecular changes in resistance of *Tetranychus urticae* populations selected with spiromesifen+ abamectin mixture. *Systematic and Applied Acarology*, 29(1), 30-44.
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*. 72, 248-254.
- Chen, J. C., Ma, Z. Z., Gong, Y. J., Cao, L. J., Wang, J. X., Guo, S. K., Hoffman A. A., & Wei, S. J. (2022). Toxicity and control efficacy of an organosilicone to the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* and its crop hosts. *Insects*, 13(4), 341. <https://doi.org/10.3390/insects13040341>

- Cloyd, R. A. (2010). Pesticide mixtures and rotations: Are these viable resistance mitigating strategies. *Pest Technology*, 4(1), 14-18.
- Çağatay, N. S., Menault, P., Riga M., Vontas, J., & Ay, R. (2018). Identification and characterization of abamectin resistance in *Tetranychus urticae* Koch populations from greenhouses in Turkey. *Crop Protection*. 112: 112-117. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.05.016>
- Demirci, B. (2023). Bazı *Tetranychus urticae* koch (Acari: Tetranychidae) popülasyonlarında acequinocyl direnci ve direnç mekanizmalarının belirlenmesi (Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi)
- Demiröz, D., & Atış, A. E. (2023). Resistance status in *Myzus persicae* (Sulzer, 1776)(Hemiptera: Aphididae) populations against single and mixture of neonicotinoid and synthetic pyrethroid insecticides. *Turkish Journal of Entomology*, 47(2), 167-174.
- Dittmann, L., & Schausberge, P. (2017). Adaptive aggregation by spider mites under predation risk, *Scientific Reports* 7, 10609.
- Helle, W., & Sabelis, M. W. (1985). Spider Mites: Their Biology, Natural Enemies and Control. Elsevier, Amsterdam, 545p.
- Insecticide Resistance Action Committee (IRAC). (2025). The irac mode of action classification online. Erişim: <https://irac-online.org/mode-of-action/classification-online/> (Erişim Tarihi: 3.3.2025)
- Kamış, B., & Dağlı F. (2022). Widespread and high levels of resistance to spinosad and spinetoram in *Frankliniella occidentalis* (Pergande, 1895) (Thysanoptera: Thripidae) populations of Antalya Province (Türkiye). *Turkish Journal of Entomology*, 46(4), 407-420.
- Migeon, A., & Dorkeld F. (2007). Spider Mites Web: a comprehensive database for the Tetranychidae. <http://www.montpellier.inra.fr/CBGP/spmweb> (Accessed Date: 3.2.2011)
- Montella, I. R., Schama, R., & Valle, D. (2012). The classification of esterases: an important gene family involved in insecticide resistance-A review. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*, 107, 437-449.
- Pavlidis, N., Vontas, J., & Van Leeuwen, T. (2018). The role of glutathione S-transferases (GSTs) in insecticide resistance in crop pests and disease vectors. *Current Opinion in Insect Science*, 27, 97-102.
- Quintela, V., Pereira, D. L., Langa, T. P., de Oliveira, M., & Siqueira, H. A. (2025). Field-evolved resistance in *Phthorimaea absoluta* to abamectin: genetic foundations, female-linked traits, and cross-resistance pattern. *Pest Management Science*. <https://doi.org/10.1002/ps.8753>
- Rauch, N., & Nauen, R. (2003). Spirodiclofen resistance risk assessment in *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae): a biochemical approach. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 74(2), 91-101.
- Sances, F. V., Toscano, N. C., LaPre, L. F., Oatman, E. R., & Johnson, M. W. (1982). Spider mites can reduce strawberry yields. *California Agriculture*, 36, 15-16.
- Sandeepa, A. R., Pradeep, S., Thara, K. T., & Sridhara, S. (2019). Biology of *Tetranychus urticae* Koch (Acarina: Tetranychidae) on carnation under laboratory condition. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 7(1), 1394-1398.
- Sökeli, E., Ay, R., & Karaca, İ. (2007). Isparta ilindeki elma bahçelerinde zararlı olan iki noktalı kırmızı örümcek *Tetranychus urticae* Koch popülasyonlarının bazı pestisitlere karşı direnç düzeylerinin incelenmesi. *Journal of Agricultural Sciences*, 13(04), 326-331.
- Stumpf N., & Nauen R. (2002). Biochemical Markers Linked to Abamectin Resistance in *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 72 (2): 111-121.
- Tirello, P., Pozzebon, A., Cassanelli, S., Van Leeuwen, T., & Duso, C. (2012). Resistance to acaricides in Italian strains of *Tetranychus urticae*: toxicological and enzymatic assays. *Experimental and Applied Acarology*, 57, 53-64.
- Turan, İ., Salman, S. Y., & Ay, R. (2016). Antalya ili kumluca ilçesi kavun seralarından toplanan *Tetranychus urticae* (Koch)(Acari: Tetranychidae) popülasyonlarının abamectin ve spirodiclofen'e karşı direnç düzeyleri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7, 254-261.
- Ünal Bahşi, Ş. Dağlı, F., İkten, C., & Göçmen, H. (2012). Antalya ve ilçelerinden toplanan *Bemisia tabaci* (Gennadius)(Hemiptera: Aleyrodidae) popülasyonlarının Acetamiprid, Chlorpyrifos-ethyl ve Cypermethrin'e karşı duyarlılık düzeyleri. *Akdeniz University Journal of the Faculty of Agriculture*, 25(1), 17-22.
- Van Leeuwen, T., Vontas, J., Tsagarakou, A., Dermauw, W., & Tirry, L. (2010). Acaricide resistance mechanisms in the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* and other important Acari: a review. *Insect Biochemistry And Molecular Biology*, 40(8), 563-572.
- Van Leeuwen T., Tirry, L., Yamamoto, A., Nauen, R., & Dermauw, W. (2015). The economic importance of acaricides in the control of phytophagous mites and an update on recent acaricide mode of action research. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 121:12-21.
- Van Nieuwenhuysse, P., Van Leeuwen, T., Khajehali, J., Vanholme, B., & Tirry, L. (2009). Mutations in the mitochondrial cytochrome b of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) confer cross-resistance between bifenazate and acequinocyl. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 65(4), 404-412.

- Yorulmaz Salman, S., & Kaplan B. (2014). Isparta ili merkez ilçesinde domates seralarından toplanan *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) popülasyonlarının bazı akarisitlere karşı direnç düzeyleri ve detoksifikasyon enzimleri. *Türkiye Entomoloji Bülteni*, 2014, 4 (3): 185-195. <http://dx.doi.org/10.16969/teb.99216>
- Yorulmaz Salman, S., & Sarıtaş, E. (2014). Acequinocyl resistance in *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae): inheritance, synergists, cross-resistance and biochemical resistance mechanisms. *International Journal of Acarology*, 40(6), 428-435.

İklim Değişikliğinin Bitki Fungal Patojenleri Üzerindeki Etkileri

Gürkan BAŞBAĞCI ¹ ¹ Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Bitki Sağlığı Bölümü ANTALYA-TÜRKİYE

Öz

Son yıllarda etkilerinin daha çok hissedildiği iklim değişikliği tüm dünyada farklı sorunlara neden olmaktadır. Tüm canlılar gibi bitkiler de bu değişiklikten ciddi şekilde etkilenmektedir. Sıcaklık, nem ve karbondioksit gibi mikroorganizma gelişimini direkt olarak etkileyen faktörler göz önüne alındığında, bitki ve toprak mikroorganizma florasında değişkenlik gözlemlenebilmesi muhtemeldir. Funguslar, bitki patojenleri arasında en baskın gruptur ve atmosferik koşullardan oldukça etkilenirler. Ayrıca fungusların ortam koşullarına hızlı bir şekilde adapte olabilmesi ile yeni ya da daha virulent/tolerant ırklar ortaya çıkabilmektedir. Bu konuda tüm dünyada iklim değişikliği senaryoları oluşturularak gelecekteki durum tahmin edilmekte ve önlem alma trendi bulunmaktadır. Bu derleme makalenin amacı, iklim değişikliğinin bitki fungal patojenleri üzerindeki etkileri konusunda yürütülen ve bilgi içeren çalışmaları bir araya getirmek, bu konuda çalışan araştırmacılara ışık tutmak, farkındalık yaratmak ve kaynak oluşturmaktır.

Article Info

Received:24.12.2024

Accepted:16.05.2025

Anahtar Kelimeler

Fungus
İklim değişikliği
Karbondioksit
Nem
Yüksek sıcaklık

Effects of Climate Change on Plant Fungal Pathogens

Abstract

Climate change, the effects of which have been felt more in recent years, causes different problems all over the world. Like all living things, plants are seriously affected by this change. Considering the factors that directly affect microorganism development, such as temperature, humidity and carbon dioxide, it is possible to observe variability in the plant and soil microorganism flora. Fungi are the most dominant group among plant pathogens and are highly affected by atmospheric conditions. In addition, new or more virulent/tolerant strains may emerge as fungi can quickly adapt to environmental conditions. In this regard, climate change scenarios are created all over the world to predict the future situation and there is a trend to take precautions. The purpose of this review article is to bring together informative studies on the effects of climate change on plant fungal pathogens, to shed light on researchers working on this subject, to raise awareness and to create resources.

Keywords

Carbon dioxide
Climate change
Fungus
High temperature
Humidity



Corresponding Author

gurkanbasbagci07@hotmail.com

Giriş

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Sözleşmesi (2002)'ne göre, "karşılaştırılabilir zaman dilimlerinde gözlenen doğal iklim değişikliğine ek olarak, doğrudan veya dolaylı küresel atmosferin bileşimini bozan insan faaliyetleri sonucunda iklimde oluşan değişiklikler" olarak tanımlanan iklim değişikliğinin etkileri son yıllarda tüm dünyada etkisini daha fazla hissettirmektedir. Sanayi devrimi sonrasında fosil yakıt kullanımının artmasıyla birlikte karbondioksit (CO₂) salınımları da hızlı bir şekilde artmaktadır (Can ve Baygüven, 2004). Bu artış, küresel iklim değişikliğini insan hayatını ve tüm ekosistemi etkileyecek boyutlara getirmiştir (Baştas, 2021). İklim değişikliğinin sonuçlarını yüksek sıcaklık, orman yangınları, kuraklık, deniz seviyesinde yükselme, asit yağmurları, fırtınalar ve kasırgalar olarak sıralamak mümkündür (Aydoğdu, 2020).

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPPC, 2007)'ne göre 21. Yüzyıla ilişkin tahminler hava sıcaklığının arttığını göstermektedir. Günümüz tahminlerine göre iklim değişikliği 2025 yılında sıcaklıkların 1°C, 2050 yılında ise 3°C artacağı (Anderson vd., 2020), bunun da kuraklık patojenlerinin hayatta kalmasını ve yayılmasını arttıracacağı tahmin edilmektedir (Pandey ve Basandrai, 2021). Küresel sıcaklık son 100 yılda 0.8°C yükselmiştir ve bu değer 2100 yılında 0.9-3.5°C arasında olması beklenmektedir. Atmosferik CO₂ konsantrasyonunun ise 21. yüzyılın sonunda 410 ppm'den 800 ppm'e kadar yükselebileceği öngörülmektedir (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019). Sıcaklık ve atmosferdeki CO₂

seviyesindeki artış ve kuraklık ve sel gibi doğa olayları konukçu bitkinin patojenlere karşı dayanıklılığını etkilemektedir. İklim değişikliği, konukçu-patojen etkileşimini değiştirme ve sonuçta hastalık epidemilerinin gelişimi üzerinde büyük bir etki yaratma potansiyeline sahiptir (Kaur vd., 2023).

Küresel gıda güvenliği, hem doğrudan ürün fizyolojisi ve verimliliği yoluyla, hem de dolaylı olarak bitki patojenleri de dahil olmak üzere bitkilerle ilişkili mikrobiyotanın tepkileri yoluyla iklim değişikliği tarafından tehdit edilmektedir (Raza ve Bebbber, 2022). Avrupa’da değişen iklim ile ilgili olarak, mikotoksinler ve pestisit kalıntısı gıda güvenliği açısından en önemli sorunlardır (Miraglia vd., 2009). Birçok patojen, uluslararası ticaret ve pazara erişim açısından önemli sonuçlar doğuracak şekilde, insan ve hayvan sağlığına zararlı toksinler ve diğer bileşikler üretir. Mikotoksinlerin, hasat sonrası depolama ve yönetim kapasitesi zayıf olan ülkeler için iklim değişikliği nedeniyle gıda güvenliği açısından endişe yaratabileceği belirtilmektedir (Paterson ve Lima, 2010).

İklim değişikliğinin bitki patojenleri üzerindeki etkileri

İklim değişikliğinin bitki patojenleri üzerindeki etkisini tahmin etmek zordur, ancak patojenlerin konukçulardan çok daha geniş bir uyum mekanizması olduğundan, uyum sağlama/evrimleşme fırsatları muhtemelen artacaktır (Santini ve Ghelardini, 2015). Bitki gelişimi ve üretiminin, yüksek atmosferik CO₂ konsantrasyonu, sıcaklık, yağış desenindeki değişiklikler ve ekstrem hava olaylarının sıklığı gibi nedenlerden dolayı önemli oranda etkilenebileceği ve bu durumda hastalık varlığının da değişeceği düşünülmektedir (Rosenzweig ve Tubiello, 2007; Ghini vd., 2008; Chakraborty ve Newton, 2011). İklim değişikliğinin, patojen evrimini ve konukçu-patojen etkileşimini değiştirerek ve yeni ırkların ortaya çıkmasını sağlayarak salgın riskini artırabileceği ve hastalıkların yeni alanlarda yayılmasına neden olabileceği bildirilmektedir (Singh vd., 2023). Ayrıca mevcut tarımsal ekosistemdeki patojenlerin daha agresif ve iklime dayanıklı türlerinin de ortaya çıkabileceği düşünülmektedir (Hunjan ve Lore, 2020). Çevre koşullarındaki değişikliklerin bitki hastalığı semptomlarını da şiddetlendirdiği bilinmektedir (Boyer, 1995; McElrone vd., 2001) ve yeni hastalıkların ortaya çıkışında %44 oranında bu değişikliklerin rolü bulunmaktadır (Anderson vd., 2004). Küresel ısınma sonucu buzulların erimesi nedeniyle, günümüz patojenleri ve diğer organizmalarla etkileşime geçebilecek tarih öncesi genotiplerin serbest kalacağı, bunun da potansiyel olarak patojenlerde yeni ve öngörülemeyen varyasyonlara neden olabileceği öngörülmektedir (Chakraborty, 2013). Dünyada hasat edilen ürünlerin %20-25'i hasat öncesi ve sonrası hastalıklar nedeniyle kaybolmakta ve iklim değişikliğinin bu oranı arttırması beklenmektedir. Bazı patojenlerin, iklim değişikliğinin bir sonucu olarak coğrafi dağılım alanlarının genişlemesi nedeniyle daha aktif ve zarar verici hale geldiği belirtilmiştir (Dixon, 2012).

Bitki hastalıkları, hassas konukçu, virulent patojen ve uygun çevre koşullarının bir arada bulunması sonucu ortaya çıkmaktadır (Agrios, 2004; Klopfenstein vd., 2009; Grulke 2011). Hastalık gelişimi için çevre koşulları en önemli faktörlerden biridir ve buradaki değişimler hastalık şiddetindeki değişikliklerle ve verim kayıplarıyla ilişkilidir (Elad ve Pertot, 2014). Ayrıca bu değişimler konukçu fizyolojisini ve patojen saldırganlığını da değiştirerek, konukçunun patojenlere karşı dayanıklılık durumunu da değiştirebilmektedir (Hunjan ve Lore, 2020). Bitkilerde zarara neden olan bazı türlerin son yıllardaki çevresel koşullardaki dalgalanma nedeniyle artmasıyla, Hindistan da dahil olmak üzere Güney Asya’da 2100 yılında tarımsal verim kayıplarının %40’a kadar çıkabileceği bildirilmiştir (IPCC, 2008).

Genel olarak iklim değişikliği hastalıklarda şu değişikliklere yol açabilir: patojenlerin coğrafi dağılımında genişleme, patojenlerin popülasyon büyüme oranlarında değişimler, biyokontrol ajanlarının yoğunluğunun ve etkinliklerinin değişmesi, patojen-böcek-konukçu interaksiyonundaki değişimler ve sıcaklığa hassas genleri içeren çeşitlerdeki dayanıklılığın azalması, yeni hastalıkların çıkışı ve göçlerle beraber istila riskinin artması ve hastalıkla mücadele için faydalı bileşenlerin etkinliklerinin azalması (Sharma, 2016). Bitki patojenleri ise iklim değişikliğine 3 şekilde tepki vermektedir. Bu tepkiler mevcut fenotipik esneklikten faydalanmak, iklimi daha uygun olan bölgelere göç etmek ya da yeni nitelikler geliştirmektir. Esnek genotipler çok çeşitli çevresel koşullara hızla uyum sağlayabilir, ancak fenotipik esneklik yetersizse göç ya

da evrim tek seçenektir (Santini ve Ghelardini, 2015). İklim değişikliğinde, patojenler bitkiler gibi, çevresel koşullar değiştikçe hızla göç edemeyebilir ya da uyum sağlayamayabilir. Ancak birçok patojen kısa jenerasyon süresi ve rüzgarla kolayca taşınmaları nedeniyle bitkilere göre avantajlıdır (Garrett vd., 2006). Bitki patojeni funguslar, hızla değişen iklim koşulları nedeniyle stres altında kalan konukçulara fırsatçı olarak saldırabilir (Jurossek vd., 2020; Desaint vd., 2021).

Yüksek sıcaklığın, fırtınaların veya kuraklığın daha sık yaşanması, pestisit kullanımında büyük bir sıçrama, virülenslik durumlarında değişiklik ve yeni alanlarda patojenlerin ortaya çıkması beklenmektedir (Pathak vd., 2018). ProMED-mail görüntüleme servisi 2015 yılından bu yana 142 yeni bitki hastalığı kaydı ortaya koymuştur. Bunların %37'si virüs, %32'si bakteri ve %25'i fungus olarak kayıtlara geçmiştir (Raza ve Bebbler, 2022).

İklim değişikliğinin fungal patojenler üzerindeki etkileri

Funguslar, bitki patojenleri içinde en baskın gruptur. Fungal patogenesis, özellikle sıcaklık ve nem gibi mevcut atmosferik koşullardan büyük ölçüde etkilenmektedir. Sıcaklık fungal patojenin farklı yaşam aşamalarında kritik bir faktördür ve sıcaklıktaki değişimler fungal üremeyi, enfeksiyon oranını, enfeksiyon döngü sayısını, uzun ve kısa mesafelere dağılımını önemli oranda etkilemektedir. Sıcaklık değişimi, dormant halde olan patojen ırklarını tetikleyebilmekte, bu nedenle de ani epidemilere neden olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca sıcaklık artışı daha uzun üreme sezonu nedeniyle fungusların hızlı bir şekilde evrimleşmesine neden olacağı düşünülmektedir. Yüksek sıcaklık topraktaki nemle birleştiğinde toprak kökenli patojenlere elverişli ortam yaratmaktadır (Hunjan ve Lore, 2020). Ortam sıcaklıkları arttıkça birçok fungusun çoğalma mevsiminin arttığı, 1950-2000 arası 50 yıllık dönemde fungusların üreme dönemini ikiye katlayarak 33 günden 74 gün çıktığı rapor edilmiştir (Gange vd., 2007). Fungusların büyüme mevsiminde görülen değişikliklerin dünya üzerindeki herhangi bir organizma grubu için en önemli değişiklikler olduğu ileri sürülmektedir (Gange vd., 2007).

Artan termal sürenin sonbahar ve kış aylarında kök ve gövdeyi enfekte eden toprak kökenli patojenlerin gelişimindeki artıştan sorumlu olduğu düşünülmektedir (Evans vd., 2008; Butterworth vd., 2010). Avrupa'nın soğuk bölgelerinde, ısınmadan dolayı toprak kökenli patojenlerin arttığı gözlemlenmektedir. Ayrıca, 2020-2030 yılları arası öngörülen artışın, 2000-2020 yılları arası öngörülenden daha fazla olacağı tahmin edilmektedir (Manici vd., 2014).

Çevresel faktörler arasında nem ve toprak sıcaklığı kök çürüklüğü etmenlerinin şiddeti ve yaygınlığında önemli rol oynamaktadır (Jat ve Ahir, 2013). Tam tersi olarak kuraklık yeni patojenlerin çıkmasına da neden olabilmektedir. Diğer yandan, yüksek CO₂ konsantrasyonunun da bitki patojeni fungusların sporulasyonunu hızlandırdığı rapor edilmiştir (Vary vd., 2015). Tedersoo vd. (2014) ise toprak pH'sının fungal oluşum için en önemli faktör olduğunu belirtmiştir.

Dünya'da iklim değişikliği ile ilgili fungal etmenler üzerinde yürütülen çalışmalar

Tüm dünyada iklim değişikliğinin bitki patojeni funguslar üzerindeki etkilerini ele alan birçok çalışma bulunmaktadır. Sıcaklık, nem ve karbondioksit gibi mikroorganizma gelişimini direkt olarak etkileyen faktörler göz önüne alındığında, bitki ve toprak mikroorganizma etkileşimlerinde değişkenlik gözlemlenebilmesi muhtemeldir. Özellikle toprak kökenli fungal patojenler konusunda çalışmaların daha yoğun olması bu teoriyi destekler niteliktedir. Peng vd. (2023), Çin'de mısır üretim alanlarında toprak örneklerinde bulunan fungal patojenlerinin iklim değişikliğine tepkilerini araştırmışlar ve *Fusarium oxysporum* ve *F. equiseti* türü fungusların mevcut dağılımlarının iklim değişikliği tarafından düzenlendiğini tespit etmişlerdir. Singh vd. (2023)'ne göre, bazı hastalıklarda, örneğin bezelyede kök çürüklüğü (*Aphanomyces euteiches*), soğan beyaz çürüklüğü (*Sclerotium cepivorum*), buğdayda take-all (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*), buğdayda kahverengi çürüklük (*Fusarium* spp.), lahanada karabacak (*Leptosphaeria maculans*) ve bağda siyah ayak (*Ilyonectria/Dactylonectria* spp.) gibi fungal patojenlerde hastalık şiddetinin kuraklığın uzaması ve sıklığı ile arttığı rapor edilmiştir.

Yüksek sıcaklık ve nemin etkisiyle fungal patojen varlığında ve şiddetinde artış göze çarpmaktadır. Rienth vd. (2021)'ne göre, iklim değişikliğinin fungal hastalık baskısına etkisinin bölge ve patojene bağlı olarak değişkenlik gösterdiği, özellikle bağda mildiyö (*Plasmopara viticola*) külleme (*Erysiphe necator*) etmenlerinin geniş sıcaklık toleransları nedeniyle çok büyük tehditler olarak kalmaya devam edeceği öngörülmektedir. Buna paralel olarak, Rai vd. (2021)'ne göre, nohutta kuru kök çürüklüğüne neden olan *Macrophomina phaseolina* fungal etmeninin kuraklık ve yüksek sıcaklık gibi faktörlerden etkilenebileceği ve bu faktörlerin hastalık şiddetini arttırdığını belirtmişlerdir. Lodha ve Mawar (2020) da yine bu fungal patojenin sıcaklık ve nem stresinin artışıyla birlikte daha yoğun görülmeye başladığını rapor etmişlerdir. Benzer şekilde, Sharma vd. (2010), *Rhizoctonia*, *Sclerotium*, *Pythium* ve *Phytophthora* gibi toprak kökenli fungal patojenlerin artan nispi nemde yüksek oranda aktivite gösterdiklerini rapor etmişlerdir. Alkhalifah vd. (2023)'ne göre, 2050 ve 2070 yılı iklim değişikliği senaryolarına göre, önemli bitki patojeni *Fusarium oxysporum* fungal etmeninin yüksek sıcaklığın etkisiyle özellikle Avrupa'daki mevcut ve gelecekteki dağılımları arasında habitat uygunluğu açısından farklılıklara neden olacağı öngörülmektedir. Serrano vd. (2022), İspanya'da Akdeniz iklim tipi ormanlarda ciddi sorun olan *Phytophthora cinnamomi* etmenine, sıcaklık ve yağış faktörlerinin kapsayan farklı iklim değişikliği senaryolarının etkilerini araştırmışlar ve her iki faktör bakımından patojen baskısı yüksek olduğunda önemli düzeyde etkiye neden olduğunu tespit etmişlerdir. Siebold ve von Tiedemann (2012) tarafından Almanya'da yürütülen bir çalışmada, yüksek sıcaklığın kolzanın 5 önemli fungal hastalığının (*Verticillium longisporum*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Alternaria brassicae*, *Phoma lingam*, *Pyrenopeziza brassicae*) yaşam döngüsüne etkileri araştırılmış ve araştırmacılar ısınmanın bu fungal etmenlerin gelecekteki yaygınlığında değişikliklere yol açabileceğini öngördüklerini bildirmişlerdir. Araştırmada ayrıca bu patojenlerin 2100 yılında daha sıcak koşulları tercih edecekleri tahmin edilmektedir.

Yüksek CO₂ seviyesinin de fungal patojen artışında önemli rol oynadığı yapılan çalışmalarda ortaya konulmuştur. Vary vd. (2015), İrlanda'da arttırılmış CO₂ seviyesinin buğdayın önemli fungal hastalıkları olan *Fusarium* başak yanıklığı (*Fusarium graminearum*) ve Septorya Yaprak Lekesi (*Septoria tritici*) etmenlerine etkilerini araştırmışlar ve yüksek CO₂ seviyesinin her iki etmende de hastalık şiddetini arttırdığını tespit etmişlerdir. Watt vd. (2011), tüm Dünya'da çam türlerinde sorun olan çam çıralı kanseri (*Fusarium circinatum*) ve Dothistroma iğne yanıklığı (*Dothistroma septosporum* ve *Dothistroma pini*) etmenleri üzerinde, 2080 yılı iklim değişikliği senaryolarının etkilerini 3 farklı model ve orta ve yüksek CO₂ emisyonları uygulayarak araştırmışlardır. Araştırmacılar, her iki hastalık etmeni için de, dünya çapında gelişimleri için uygun olabilecek alanlarda azalma yaşanacağını öngöröldüğü belirtmişlerdir. Eastburn vd. (2010), ABD'de yükseltilmiş CO₂ ve O₃'ün soyanın en önemli fungal hastalıkları üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Araştırmacılar, yükseltilmiş CO₂'in tek başına ya da O₃ ile birlikte uygulandığında külleme etmeni *Peronospora manshurica*'nın hastalık şiddetini azalttığını, bunun aksine kahverengi leke etmeni *Septoria glycines*'in hastalık şiddetini arttırdığını ve bu hastalıklara verilen tepkilerin önemli ölçüde önemli bulunduğunu belirtmişlerdir. Chitarra vd. (2015), İtalya'da iklim değişikliği simülasyonları ile roka bitkisinde *Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutinans* fungal etmeninin hastalık şiddeti seviyelerini araştırmışlardır. Araştırmacılar, yüksek sıcaklık ve CO₂ seviyelerinin önemli oranda hastalık indeksini etkilediğini ve bu parametrelerin fungal çeşitlilik üzerinde etkili olduklarını rapor etmişlerdir.

Diğer yandan fungusların ortam koşullarına hızlı bir şekilde adapte olabilmesi ile yeni ya da daha virulent ırklar ortaya çıkabilmektedir. Wahdan vd. (2020)'e göre, günümüzden 50-70 yıl sonrasını tahmin eden iklim değişikliği modellemeleri ile buğdayın önemli fungal patojenleri olan *Fusarium graminearum*, *Fusarium tricinctum* ve *Zymoseptoria tritici* etmenlerinin o dönemde de tespit edileceği, ayrıca bu senaryolara göre yeni bitki patojenlerinin de ortaya çıkacağı öngörülmektedir. Nnadi ve Carter (2021) ise iklim değişikliği nedeniyle ortaya çıkan yeni fungus türlerini ortaya koymak amacıyla yürüttükleri çalışmada, *Candida auris* türünün tamamen yeni bir tür olarak ortaya çıktığını, *Batrachochytrium dendrobatidis* ve *Cryptococcus deuterogattii* türlerinin önemli düzeyde epidemilere neden olabilecek türlere dönüştüğünü, *Puccinia striiformis* ve *Fusarium graminearum* türlerinin ise yeni virulent ırklarının ortaya çıktığını bildirmişlerdir.

İklim değişikliğinin bitki fungal patojenleri üzerindeki etkilerini azaltmaya yönelik önlemler ve stratejiler

Mevcut modelleme sistemlerinin geliştirilerek çoklu model ya da diğer yaklaşımların da kullanılarak uygulanmasının iyi bir başlangıç noktası olacağı düşünülmektedir. Bitki fungal patojenleri için önerilen yaklaşımların geniş bir yelpazede senaryo ve vaka çalışması yapılarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Ekolojik desenleri ve süreçleri, mekansal ve zamansal ölçeklerde birbirine bağlayan diğer yaklaşımlar da test edilmelidir. Patojen gelişiminin kapsamlı araştırılmasının, mevcut ve gelecekteki bitki hastalıkları ile mücadele seçeneklerinin değerlendirilmesi için önemli bir araç olacağı düşünülmektedir. Ayrıca uzun vadeli veri edinme ihtiyacı bulunmaktadır. Sanayileşme sonrası dönemde Antarktika buz çekirdeklerinde sıkışmış atmosferik gaz örnekleri bulunmaktadır ve bu örnekler bitki patojenlerinin DNA'ları da dahil olmak üzere, mükemmel ancak henüz keşfedilmemiş tarihsel bir veri kaynağı içermektedir. Yeni moleküler tekniklerin, bu mikroorganizmaların evrimsel ilişkilerini tanımlamaya ve anlamaya yardımcı olacağı muhtemeldir (Chakraborty 2013).

Sonuç

Tüm dünyada yürütülen çalışmalar göstermektedir ki, iklim değişikliğinin bitki fungal patojenleri üzerinde etkisi son derece önemlidir. Atmosferik faktörler fungal patojenlerin bolluklarında ya da virülensliklerinde çarpıcı sonuçlar doğurabilmektedir. Sonuç olarak, tüm bu iklim değişikliği faktörleri ve bunların bitki fungal patojenlerine etkileri göz önüne alındığında, ülkemizde de mevcut patojen varlığının ve virülenslik durumlarının da değişebileceği kaçınılmazdır. Ayrıca yeni türlerin ya da ırkların ortaya çıkmış olabileceği de muhtemeldir. İklim değişikliği senaryolarının ülkemizde önemli tarım ürünlerinde verim kaybına neden olan fungal patojenleri üzerinde de uygulanarak, gelecekteki olası epidemi, pandemi ya da farklı olumsuz etkilere karşı önlem alma konusunda bilinçli olmak son derece önemlidir.

Yazar Katkı Oranları

Yazar olarak bu çalışmanın tamamının tarafımdan hazırlandığını beyan ederim.

Çıkar Çatışması Beyanı

Bu çalışmanın yazarı olarak herhangi bir çıkar çatışması beyanım bulunmadığını bildiririm.

Etik Kurul Onayı

Bu çalışmanın yazarı olarak herhangi bir etik kurul onay bilgisi beyanı bulunmadığını bildiririm.

Kaynaklar

- Agrios, G. N. (2004). Plant pathology, 5th edn. Elsevier, London, 922p.
- Alkhalifah, D. H. M., Damra, E., Melhem, M. B., & Hozzein, W. N. (2023). Fungus under a changing climate: modeling the current and future global distribution of *Fusarium oxysporum* using geographical information system data. *Microorganisms*, 11(2), 468. <http://dx.doi.org/10.3390/microorganisms11020468>
- Anderson, P. K., Cunningham, A. A., Patel, N. G., Morales, F. J., Epstein, P. R., & Daszak, P. (2004). Emerging infectious diseases of plants: pathogen pollution, climate change and agrotechnology drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, 19, 535–44. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2004.07.021>
- Anderson, R., Bayer, P. E., & Edwards, D. (2020). Climate change and the need for agricultural adaptation. *Current Opinion in Plant Biology*, 56, 197-202. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.2019.12.006>
- Aydoğdu, G. (2020). İklim Değişikliği ve Tarımsal Uygulamalar Etkileşimi. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi İnsan Bilimleri Dergisi*, 1(1), 43 – 61.
- Baştaş, K. K. (2021). Impacts of Climate Changes on Plant-Beneficial Microorganism Interactions. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 9, 2594-2603.
- Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, (2002). <http://iklim.cob.gov.tr/iklim/AnaSayfa/BMIDCS.aspx?sflang=tr> (Erişim: 01.10. 2024).
- Boyer, J.S. (1995). Biochemical and biophysical aspects of water deficits and the predisposition to disease. *Annual Review of Phytopathology*, 33, 251–74. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.py.33.090195.001343>

- Butterworth, M.H., Semenov, M.A., Barnes, A., Moran, D., West, J.S., & Fitt, B.D.L. (2010). North-South divide; contrasting impacts of climate change on crop yields in Scotland and England. *Journal of the Royal Society Interface*, 7, 123-130. <http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2009.0111>
- Can, A. & Baygüven, B. (2004). Sera Gazları Emisyon Envanteri Çalışma Grubu Taslak Raporu. TÜİK, Çevre İstatistikleri Şubesi, Ankara.
- Chakraborty, S. & Newton, A. C. (2011). Climate change, plant diseases and food security: an overview. *Plant Pathology*, 60, 2–14. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02411.x>
- Chakraborty, S. (2013). Migrate or evolve: options for plant pathogens under climate change. *Global Change Biology*, 19(7), 1985-2000
- IPCC (2007) Climate change 2007: the physical science basis. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (eds) Contribution of working group 1 to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge. <http://dx.doi.org/10.1111/gcb.12205>
- Chitarra, W., Siciliano, I., Ferrocino, I., Gullino, M.L., & Garibaldi, A. (2015). Effect of elevated atmospheric CO₂ and temperature on the disease severity of rocket plants caused by Fusarium wilt under phytotron conditions. *PLoS ONE*, 10(10):e0140769. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0140769>
- Desaint, H., Aoun, N., Deslandes, L., Vailleau, F., Roux, F., & Berthomé, R. (2021). Fight hard or die trying: when plants face pathogens under heat stress. *New Phytologist*, 229(2), 712-734. <http://dx.doi.org/10.1111/nph.16965>
- Dixon, G. R. (2012). Climate change–impact on crop growth and food production, and plant pathogens. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 34(3), 362-379. <http://dx.doi.org/10.1080/07060661.2012.701233>
- Eastburn, D. M., Degennaro, M. M., Delucia, E. H., Dermody, O., & Mcelrone, A. J. (2010). Elevated atmospheric carbon dioxide and ozone alter soybean diseases at SoyFACE. *Global Change Biology*, 16, 320-330. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01978.x>
- Elad, Y., & Pertot, I. (2014). Climate change impacts on plant pathogens and plant diseases. *Journal of Crop Improvement*, 28, 99-139. <http://dx.doi.org/10.1080/15427528.2014.865412>
- Evans, N., Baierl, A., Semenov, M.A., Gladders, P., & Fitt, B.D.L. (2008). Range and severity of a plant disease increased by global warming. *Journal of Royal Society Interface*, 5, 525-531. <http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2007.1136>
- Gange, A.C., Ganage, E.G., Spvd.,s, T.H., & Boddy, L. (2007). Rapid and recent changes in fungal fruiting patterns. *Science*, 316 (5821), 71. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1137489>
- Garrett, K. A., Dendy, S. P., Frank, E. E., Rouse, M. N., & Travers, S. E. (2006). Climate change effects on plant disease: Genomes to ecosystems. *Annual Review Of Phytopathology*, 44, 489-509. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.phyto.44.070505.143420>
- Ghini, R., Hamada, E., & Bettiol, W. (2008). Climate change and plant disease. *Scientia Agricola* (Piracicaba, Brazil), 65, 98-107. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162008000700015>
- Grulke, N. E. (2011). The nexus of host and pathogen phenology: understanding the disease triangle with climate change. *New Phytologist* 189, 8–11. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03568.x>
- Hunjan, M. S., & Lore, J. S. (2020). Climate change: Impact on plant pathogens, diseases, and their management. *Crop Protection Under Changing Climate*, 85-100. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-46111-9_4
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019). IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems. Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC. (2007). Climate change 2007: the physical science basis. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (eds) Contribution of working group 1 to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC. (2008). Climate change and water, Intergovernmental panel on climate change technical report IV.
- Jat, M. K., & Ahir, R. R. (2013). Effect of temperature, relative humidity and pH on mycelial growth and sporulation of *Fusarium solani* causing root rot of Indian Aloe (*Aloe barbadensis* MILL.). *Journal of Plant Science Research*, 29 (2), 181.
- Juroszek, P., Racca, P., Link, S., Farhumand, J., & Kleinhenz, B. (2020). Overview on the review articles published during the past 30 years relating to the potential climate change effects on plant pathogens and crop disease risks. *Plant Pathology*, 69(2), 179-193. <http://dx.doi.org/10.1111/ppa.13119>
- Kaur, G., Singh, H., Maurya, S., Kumar, C., & Kumar, A. (2023). Current scenario of climate change and its impact on plant diseases. *Plant Science Today*, 10(4), 163-171. <http://dx.doi.org/10.14719/pst.2479>
- Klopfenstein, N. B., Kim, M.-S., Hanna, J. W., Richardson, B.A., & Lundquist, J. (2009). Approaches to predicting potential impacts of climate change on forest disease: an example with Armillaria root disease. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, RMRS-RP-76, pp.
- Lodha, S., & Mawar. R. (2020). Population dynamics of *Macrophomina phaseolina* in relation to disease management: A review. *Journal of Phytopathology*, 168, 1–17. <http://dx.doi.org/10.1111/jph.12854>

- Manici, L. M., Bregaglio, S., Fumagalli, D., & Donatelli, M. (2014). Modelling soil borne fungal pathogens of arable crops under climate change. *International Journal of Biometeorology*, 58, 2071-2083. <http://dx.doi.org/10.1007/s00484-014-0808-6>
- McElrone, A.J., Sherald J.L., & Forseth, I.N. (2001). Effects of water stress on symptomatology and growth of *Parthenocissus quinquefolia* infected by *Xylella fastidiosa*. *Plant Disease* 85, 1160-4. <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS.2001.85.11.1160>
- Miraglia, M., Marvin, H. J. P., Kleter, G. A., Battilani, P., Brera, C., Coni, E., ... & Vespermann, A. (2009). Climate change and food safety: an emerging issue with special focus on Europe. *Food and Chemical Toxicology*, 47(5), 1009-1021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2009.02.005>
- Nnadi, N. E., & Carter, D. A. (2021). Climate change and the emergence of fungal pathogens. *PLoS Pathogens*, 17(4), e1009503. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.ppat.1009503>
- Pandey, A. K., & Basandrai, A. K. (2021). Will *Macrophomina phaseolina* spread in legumes due to climate change? A critical review of current knowledge. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 128(1), 9-18. <http://dx.doi.org/10.1007/s41348-020-00374-2>
- Paterson, R. R. M., & Lima, N. (2010). How will climate change affect mycotoxins in food? *Food Research International* 43, 1902-14. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.010>
- Pathak, R., Singh, S. K., Tak, A., & Gehlot, P. (2018). Impact of climate change on host, pathogen and plant disease adaptation regime: a review. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 15(3), 529-540. <http://dx.doi.org/10.13005/bbra/2658>
- Peng, Z., Liu, Y., Qi, J., Gao, H., Li, X., Tian, Q., ... & Jiao, S. (2023). The climate-driven distribution and response to global change of soil-borne pathogens in agroecosystems. *Global Ecology and Biogeography*, 32(5), 766-779. <http://dx.doi.org/10.1111/geb.13662>
- Rai, A., Irulappan, V., & Senthil-Kumar, M. (2022). Dry root rot of chickpea: a disease favored by drought. *Plant Disease*, 106(2), 346-356. <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-07-21-1410-FE>
- Raza, M. M., & Bebbler, D. P. (2022). Climate change and plant pathogens. *Current Opinion in Microbiology*, 70, 102233. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mib.2022.102233>
- Rienth, M., Vigneron, N., Walker, R. P., Castellarin, S. D., Sweetman, C., Burbidge, C. A., ... & Darriet, P. (2021). Modifications of grapevine berry composition induced by main viral and fungal pathogens in a climate change scenario. *Frontiers in Plant Science*, 12, 717223. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2021.717223>
- Rosenzweig, C. & Tubiello, F. N. (2007). Adaptation and mitigation strategies in agriculture: an analysis of potential synergies. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12, 855-873. <http://dx.doi.org/10.1007/s11027-007-9103-8>
- Santini, A., & Ghelardini, L. (2015). Plant pathogen evolution and climate change. *CABI Reviews*, 1-8. <http://dx.doi.org/10.1079/PAVSNNR201510035>
- Serrano, M. S., Romero, M. Á., Homet, P., & Gómez-Aparicio, L. (2022). Climate change impact on the population dynamics of exotic pathogens: The case of the worldwide pathogen *Phytophthora cinnamomi*. *Agricultural and Forest Meteorology*, 322, 109002. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.109002>
- Sharma, M. (2016). Emerging disease scenario in pulses under climate change. *Pulses Challenges and Opportunities under Changing Climatic Scenario*. [Dixit, GP, Singh, J. and Singh, NP (ed.)], ISPRD, Kanpur, Uttar Pradesh, India, 138-146.
- Sharma, M., Mangala, U.N., Krishnamurthy, M., Vadez, V., & Pande, S. (2010). Drought and dry root of chickpea. In: Proceedings of the 5th International Food Legumes Research Conference (IFLRC V) and 7th European Conference on Grain Legumes (AEP VII), Antalya, Turkey.
- Siebold, M., & von Tiedemann, A. (2012). Potential effects of global warming on oilseed rape pathogens in Northern Germany. *Fungal Ecology*, 5, 62-72. <http://dx.doi.org/10.1016/j.funeco.2011.04.003>
- Singh, B. K., Delgado-Baquerizo, M., Egidi, E., Guirado, E., Leach, J. E., Liu, H., & Trivedi, P. (2023). Climate change impacts on plant pathogens, food security and paths forward. *Nature Reviews Microbiology*, 21(10), 640-656. <http://dx.doi.org/10.1038/s41579-023-00900-7>
- Tedersoo, L., Bahram, M., Pölme, S., Kõljalg, U., Yorou, N. S., Wijesundera, R., ... & Abarenkov, K. (2014). Global diversity and geography of soil fungi. *Science*, 346(6213), 1256688. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1256688>
- Vary, Z., Mullins, E., McElwain, J. C., & Doohan, F. M. (2015). The severity of wheat diseases increases when plants and pathogens are acclimatized to elevated carbon dioxide. *Global Change Biology*, 21(7), 2661-2669. <http://dx.doi.org/10.1111/gcb.12899>
- Wahdan, S. F. M., Hossen, S., Tanunchai, B., Schädler, M., Buscot, F., & Purahong, W. (2020). Future climate significantly alters fungal plant pathogen dynamics during the early phase of wheat litter decomposition. *Microorganisms*, 8, 908. <http://dx.doi.org/10.3390/microorganisms8060908>

Watt, M. S., Ganley, R. J., Kriticos, D. J., & Manning, L. K. (2011). Dothistroma needle blight and pitch canker: the current and future potential distribution of two important diseases of Pinus species. *Canadian Journal of Forest Research*, 41, 412–424. <http://dx.doi.org/10.1139/X10-204>