

TARIMSAL VERİMLİLİĞİ KISITLAYAN SORUNLARLA MÜCADELE YÖNTEMLERİ-2



EDİTÖRLER
DOÇ. DR. ABDURRAHİM YILMAZ
ÖĞR. GÖR. DR. HİLAL YILMAZ

TARIMSAL VERİMLİLİĞİ KISITLAYAN SORUNLARLA MÜCADELE YÖNTEMLERİ 2

EDİTÖRLER

Doç. Dr. Abdurrahim YILMAZ

Öğr. Gör. Dr. Hilal YILMAZ

YAZARLAR

Prof. Dr. Mehmet Salih ÖZGÖKÇE

Prof. Dr. Müttalip GÜNDOĞDU

Prof. Dr. Üstün ŞAHİN

Prof. Dr. Vahdettin ÇİFTÇİ

Doç. Dr. Abdurrahim YILMAZ

Doç. Dr. Caner YERLİ

Doç. Dr. Emrah GÜLER

Doç. Dr. Talip ÇAKMAKCI

Dr. Öğr. Üyesi Akgül TAŞ

Dr. Öğr. Üyesi Fatih DEMİREL

Dr. Öğr. Üyesi Hilmi KARA

Dr. Öğr. Üyesi Sibel BOYSAN CANAL

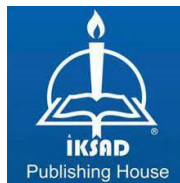
Dr. Öğr. Üyesi Sipan SOYSAL

Öğr. Gör. Dr. Hilal YILMAZ

Öğr. Gör. Dr. Murat KARAKUŞ

Dr. Serap DEMİREL

Yük. Zir.Müh. Rufayi KARATAŞ



Copyright © 2024 by iksad publishing house

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or transmitted in any form or by any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses permitted by copyright law. Institution of Economic Development and Social Researches Publications®

(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)

TÜRKİYE TR: +90 342 606 06 75

USA: +1 631 685 0 853

E mail: iksadyayinevi@gmail.com

www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.
Iksad Publications – 2024©

ISBN: 978-625-378-029-6

Cover Design: Abdurrahim YILMAZ

December / 2024

Ankara / Türkiye

Size: 16x24cm

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....1

BÖLÜM 1

KURAKLIK STRESİNİN HAFİFLETİLMESİNDE EKSOJEN γ -AMİNOBÜTİRİK ASİT (GABA) UYGULAMALARININ ROLÜ

Öğr. Gör. Dr. Hilal YILMAZ

Prof. Dr. Vahdettin ÇİFTÇİ.....3

BÖLÜM 2

ENDOFİTİK BAKTERİLERİN FİTOREMEDİASYONA ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Sibel BOYSAN CANAL.....19

BÖLÜM 3

TÜRKİYE'DE TEMEL TAHİL ÜRÜNLERİNDE VERİMLİLİĞİ KISITLAYAN SORUNLAR VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK STRATEJİLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Sipan SOYSAL

Doç. Dr. Abdurrahim YILMAZ

Prof. Dr. Vahdettin ÇİFTÇİ.....35

BÖLÜM 4

ZARARLI BÖCEK YÖNETİMİNDE İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI (İHA)'NIN KULLANIMI

Dr. Öğr. Üyesi Hilmi KARA

Prof. Dr. Mehmet Salih ÖZGÖKÇE.....55

BÖLÜM 5

SU KİTLİĞİNDE HASSAS SULAMANIN SU KULLANIM VERİMLİLİĞİ ÜZERİNDEKİ ÖNEMİ

Doç. Dr. Talip ÇAKMAKCI

Doç. Dr. Caner YERLİ

Prof. Dr. Üstün ŞAHİN.....73

BÖLÜM 6

FOSFOR ALIMINI İYİLEŞTİRMEK İÇİN MİKORİZAL MANTARLARIN KULLANILMASI

Öğr. Gör. Dr. Murat KARAKUŞ

Yüksek Ziraat Müh. Rufayi KARATAŞ.....93

BÖLÜM 7

MEYVE YETİŞTİRİCİLİĞİNDE ABİYOTİK STRES KAYNAKLARI ÜZERİNE FİTOHORMONLARIN ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Akgül TAŞ.....111

BÖLÜM 8

TOHUM ÇİMLENMESİNİ GELİŞTİRMEK İÇİN SOĞUK PLAZMA TEKNOLOJİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Sipan SOYSAL

Yüksek Ziraat Müh. Rufayi KARATAŞ.....123

BÖLÜM 9

KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ÜZÜM YETİŞTİRİCİLİĞİNE ETKİLERİNE KAPSAMLI BİR BAKIŞ

Doç. Dr. Emrah GÜLER.....135

BÖLÜM 10

MEYVE MUHAFAZASINDA POLİAMİNLERİN KULLANIMI

Dr. Öğr. Üyesi Akgül TAŞ

Prof. Dr. Müttalip GÜNDOĞDU.....199

BÖLÜM 11

PİSATİN MOLEKÜLÜNÜN *Fusarium oxysporum*'A KARŞI ANTİFUNGAL POTANSİYELİNİN DOCKING İLE İN SİLİCO DEĞERLENDİRMESİ

Dr. Serap DEMİREL

Dr. Öğr. Üyesi Fatih DEMİREL.....213

ÖNSÖZ

Küresel ısınma, iklim değişikliği, kaynak kıtlığı ve artan nüfus, tarım sektörünü her zamankinden daha karmaşık sorunlarla yüz yüze bırakmıştır. Bu durum, yalnızca gıda güvenliği ve sürdürülebilir tarım politikalarının önemini artırmakla kalmamış, aynı zamanda yenilikçi ve multidisipliner çözümlere olan ihtiyacı da gün yüzüne çıkarmıştır. Tarımsal Verimliliği Kısıtlayan Sorunlarla Mücadele Yöntemleri - 2, bu zorlu dönemde tarımın mevcut ve gelecekteki sorunlarına çözüm odaklı yaklaşımlar sunmak amacıyla hazırlanmış bir rehber niteliği taşımaktadır.

Bu kitapta, kuraklık stresini hafifletmeye yönelik γ -aminobütirik asit (GABA) uygulamaları ve endofitik bakterilerin fitoremediasyondaki rolleri ele alınırken, mikoriza mantarlarının fosfor alımına katkıları ve fitohormonların abiyotik stres koşullarında meyve yetiştiriciliği üzerindeki etkileri de incelenmiştir. Zararlı böcek yönetiminde insansız hava araçlarının (İHA) kullanımı, tohum çimlenmesini artırmak için soğuk plazma teknolojisi ve meyve muhafazasında poliaminlerin kullanımı gibi yenilikçi teknolojiler tartışılmaktadır. Ayrıca, hassas sulamanın su kullanım verimliliğine etkileri, küresel iklim değişikliğinin üzüm yetiştiriciliği üzerindeki etkileri ve pisatin molekülünün antifungal potansiyeli gibi spesifik başlıklar da detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

Alanlarında uzman araştırmacıların katkılarıyla hazırlanan bu kitap, tarımsal sorunların çözümünde ileri teknolojiler ve sürdürülebilirlik odaklı yaklaşımlar sunmaktadır. Bilimsel literatüre değerli bir katkı

sağlayacağını düşündüğümüz bu eserin, araştırmacılarından tarım sektöründeki uygulayıcılara kadar geniş bir kitleye faydalı olmasını temenni ediyoruz. Kitabın hazırlanmasında emeği geçen tüm yazarlara ve destekçilere teşekkür eder, okuyucularımıza ilham verici bir okuma deneyimi dileriz

.Doç. Dr. Abdurrahim YILMAZ¹

Öğr. Gör. Dr. Hilal YILMAZ²

¹ Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Bolu, Türkiye. abdurrahimyilmaz@ibu.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9991-1792>

² Kocaeli Üniversitesi, İzmit Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Programı, Kocaeli, Türkiye. hilal.yilmaz@kocaeli.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9138-3382>

B¼L¼M 1

KURAKLIK STRESİNİN HAFİFLETİLMESİNDE EKSOJEN γ -AMİNOBÜTİRİK ASİT (GABA) UYGULAMALARININ ROL¼

¼đr. G¼r. Dr. Hilal YILMAZ^{1*}
Prof. Dr. Vahdettin ¼İFTÇİ²

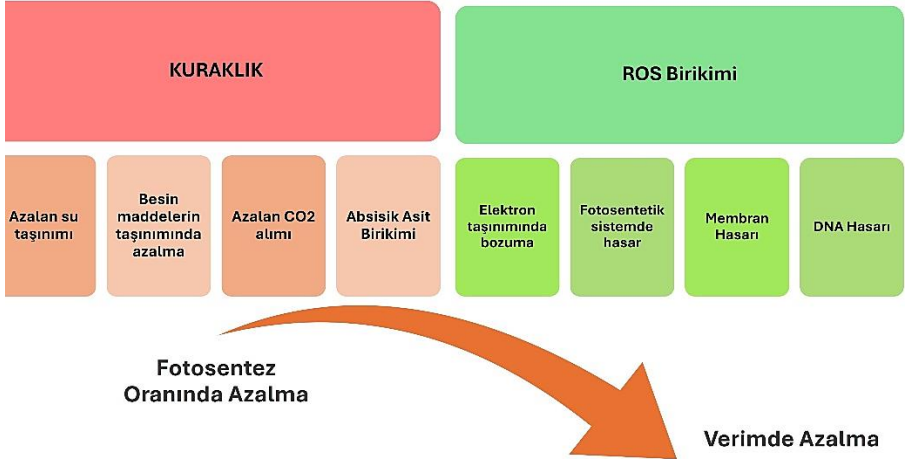
DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14542963>

^{1*} Kocaeli Üniversitesi, İzmıt Meslek Y¼ksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal retim Programı, Kocaeli, T¼rkiye. hilal.yilmaz@kocaeli.edu.tr

² Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat Fak¼ltesi Tarla Bitkileri B¼l¼m¼, Bolu, T¼rkiye. vahdettinciftci@ibu.edu.tr

GİRİŞ

Kuraklık, bitkiler üzerinde en yıkıcı çevresel stres faktörlerinden biri olarak kabul edilmektedir ve dünya genelinde bitkisel üretimin sürdürülebilirliğini tehdit eden temel sorunlardan biridir (Yılmaz, 2024). Küresel iklim değişikliği senaryoları, yağışların azalması (meteorolojik kuraklık) ve artan buharlaşma-terleme talebinin (evapotranspirasyon) birleşimiyle daha sık ve şiddetli kuraklık olaylarının yaşanacağını öngörmektedir (Dai ve ark., 2018). Kuraklık, özellikle yarı kurak ve kurak bölgelerde tarım sistemlerinin kırılganlığını artırmaktadır. Kuraklık, bitkilerde büyüme ve gelişim süreçlerini olumsuz etkileyerek biyokütle birikiminde azalmaya, hücrel metabolizmanın bozulmasına ve ürün veriminde ciddi düşümlere yol açmaktadır (Farooq ve ark., 2019; Kapoor ve ark., 2020, Şekil 1).



Şekil 1. Kuraklık stresinin bitkilerinin fotosentez ve verim mekanizması üzerindeki etkileri

Tarla bitkilerinde kuraklık stresi, hücre bölünmesi ve genişlemesinin yavaşlamasına, yaprak boyutunun küçülmesine, kök yayılımının azalmasına ve gövde uzamasının engellenmesine neden olur (Farooq ve ark., 2012; Khatun ve ark., 2021). Bunun sonucunda, bitkilerde fotosentetik kapasite ve su kullanım verimliliği büyük ölçüde azalır. Bu durum, çevresel streslere verilen fizyolojik yanıtların bir sonucu olup, bitkilerin metabolik işlevlerini ve su ile besin alım süreçlerini olumsuz etkiler. Bu bozulmalar, verim kaybının daha da hızlanmasına neden olur (Salehi-Lisar ve ark., 2016).

Kuraklık stresinin fizyolojik etkileri, stoma regülasyonu ve gaz değişim süreçlerinde ortaya çıkan bozulmalarla kendini gösterir (Anjum ve ark., 2011). Örneğin, absisik asit (ABA), embriyo olgunlaşması, tohum dormansisi, kök büyümesi ve çiçeklenme gibi süreçlerde kritik bir düzenleyicidir. Ayrıca, kuraklık stresi gibi çevresel streslere karşı bitkilerin adaptasyonunu destekleyerek stomaların açılıp kapanmasını düzenleyen genlerin ekspresyonunu kontrol eder (Ali ve ark., 2020). Su eksikliği, bitkilerde ABA biyosentezini hızlandırır ve bu hormon, transpirasyon kayıplarını azaltmak amacıyla stomaların kapanmasını tetikler (Muhammad Aslam ve ark., 2022). ABA kademeli olarak hidrolik iletkenliği artırır ve kök hücrelerinin uzamasını teşvik ederek bitkilerin su kısıtlı koşullardan kurtulmasını sağlar (Daszkowska-Golec, 2016). Ancak, ABA'nın bu faydalı etkileri, stomaların uzun süre kapalı kalması durumunda fotosentetik karbon asimilasyonunu sınırlayabilir (Ali ve ark., 2020). Kuraklık stresi altında, stomaların kapanması CO₂ alımını sınırlar ve stoma odacıklarının içinde oksijen

seviyelerinin artmasına neden olur. Bu durum, oksijenin kısmi indirgenmesini teşvik ederek reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşumuna yol açar. Bitkilerde ROS, kloroplast, mitokondri ve plazma membranındaki elektron taşıma aktivitelerinden veya hücresel bölmelerde gerçekleşen metabolik süreçlerin yan ürünleri olarak doğal bir şekilde oluşur (Mansoor ve ark., 2022). ROS, zarar verici etkilerinin yanı sıra çevresel streslere tolerans gibi çeşitli hücresel süreçlerde ikinci haberciler olarak işlev görür. Ancak, ROS'un zararlı mı yoksa faydalı mı olacağı, üretim ve temizleme süreçleri arasındaki hassas dengeye bağlıdır (Das ve Roychoudhury, 2014). Bitkilerde fotosentez kapasitesinin doğrudan düşmesi, reaktif oksijen türlerinin üretimi ve bertarafı arasındaki dengeyi bozar. Bitkilerde hidrojen peroksit (H_2O_2), hidroksil radikalleri ($OH\bullet$), süperoksit (O_2^-) ve tekil oksijen (1O_2) gibi çeşitli reaktif oksijen türlerinin üretimi artar (Hossain ve ark., 2015). Bu reaktif oksijen türlerinin antioksidan savunma sistemlerine karşı kapasitesinin aşması, hücrelerde ROS birikimine yol açar ve redoks dengesini bozarak çekirdek, zar lipitleri, proteinler ve diğer hücresel yapılarda hasara neden olur. Bu durum, nitro-oksidatif stresin gelişmesini ve sonuçta hücre ölümünü tetikler (Hussain ve ark., 2019). ROS, zar bütünlüğünü bozarak zar geçirgenliğini artırmakta ve bu da solunum, fotosentez ve bitkinin genel büyüme ve gelişimi üzerinde olumsuz etkilemektedir (Ahmad ve ark., 2018).

Fazla ROS'un detoksifikasyonu, süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), askorbat peroksidaz (APX) gibi enzimatik antioksidanlar ve askorbat (AsA), glutatyon (GSH), karotenoidler gibi enzimatik

olmayan antioksidanlar tarafından gerçekleştirilir (Sharma ve ark., 2012). Bu mekanizmalar, bitki dayanıklılığını artırmada önemli bir role sahiptir. Bu etkili antioksidan sistem, hücrelerin ROS seviyelerini sıkı bir şekilde kontrol ederek oksidatif hasarı önler ve hücresel işlevlerin devamlılığını sağlar (Mansoor ve ark., 2022).

Bitkiler, bu tür zararlarla başa çıkmak için antioksidan savunma mekanizmalarını aktive eder; ancak bu savunma sistemleri genellikle yetersiz kalır ve bitkilerde metabolik dengesizliklere neden olur (Hasanuzzaman ve ark., 2019). Bu dengesizliklerin giderilmesi için, antioksidan kapasitesinin artırılmasını hedefleyen tarımsal uygulamalar geliştirilmelidir. Bu nedenle bitkilerin bu zorlu koşullarda hayatta kalma mekanizmalarını anlamaya yönelik kaydedilen önemli ilerlemeler, tarımsal verimliliğin artırılması açısından büyük bir öneme sahiptir (Chaki ve ark., 2020).

Kuraklık stresinin neden olduğu yaygın bir başka etki de klorofil bozulmasıdır. Yaprak sararması olarak bilinen bu durum, bitkilerde enerji ve metabolik dengenin bozulduğunun bir göstergesidir. Klorofil kaybı, fotosentezin daha da azalmasına neden olarak bitki büyümesini ve verimliliğini olumsuz etkiler (Qiao ve ark., 2024). Tarımsal kuraklık, sadece fizyolojik değil, aynı zamanda bitki morfolojisi üzerinde de olumsuz etkiler yaratmaktadır. Kök büyümesi ve yayılımı, toprak içindeki suyun sınırlı erişilebilirliği nedeniyle azalırken, yaprak yüzey alanı küçülmekte ve bitki gövdesinin uzaması baskılanmaktadır (Liu ve ark., 2024). Bu morfolojik değişiklikler, bitkilerin çevresel streslere karşı savunma kapasitesini daha da zayıflatarak ürün kalitesini ve

miktarını düşürmektedir. Bu olumsuz etkilerin hafifletilmesinde, bitkilerin stres tepkilerini düzenleyen biyostimülantların eksojen uygulanması büyük bir potansiyele sahiptir. GABA (γ -Aminobütirik asit), kuraklık koşullarında bitkilerde hem morfolojik hem de fizyolojik değişiklikleri iyileştirerek büyüme ve verimliliği destekleyen kritik bir biyostimülant olarak öne çıkmaktadır. GABA'nın antioksidan savunmayı güçlendirme, osmotik dengeyi sağlama ve hormon sinyal yollarını düzenleme gibi çok yönlü işlevleri, kuraklık stresinin etkilerini azaltmada umut vadetmektedir. Bu özellikler, GABA'nın bitkilerde stres toleransını artırmada etkili bir araç olarak değerlendirilmesini sağlamaktadır.

1. GABA'NIN BİTKİLERDE KURAKLIK STRESİNE KARŞI ROLÜ VE UYGULAMALARININ ETKİLERİ

γ -Aminobütirik asit (GABA), protein olmayan bir amino asit olarak ilk kez yarım yüzyıl önce patates yumrularında keşfedilmiştir (Stewart, 1949). Çalışmalar, mekanik hasar, hormonal toksisite, tuzluluk, su baskını ve kuraklık gibi abiyotik stres koşullarında, GABA'nın bitki dayanıklılığını artırdığını göstermektedir (Jin ve ark., 2019; Khanna ve ark., 2021). GABA'nın, prolin ve trikarboksilik asit (TCA) döngü metabolizmasını düzenleyerek oksidatif hasarı azalttığı ve karbon/azot dengesini sağladığı bilinmektedir. Bu özellikleri, GABA'yı abiyotik stres toleransını artırmak için etkili bir araç haline getirmektedir (Ullah ve ark., 2023; Salah ve ark., 2019).

Kuraklık stresi altındaki bitkilerde, GABA uygulaması antioksidan savunma sistemlerini güçlendirmektedir. Bu etki, reaktif oksijen

türlerinin (ROS) temizlenmesinde görev alan süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve askorbat peroksidaz (APX) gibi genlerin ekspresyonunu artırmasıyla ilişkilendirilmiştir (Zarbaksh ve ark., 2024). Ayrıca, GABA, ozmolit biyosentezinde yer alan prolin ve glisin betain gibi moleküllerin üretimini düzenleyen genlerin ekspresyonunu teşvik etmektedir (Hasan ve ark., 2021). Bunun ötesinde, GABA'nın stres sinyalleme ve ozmotik düzenleme gibi süreçleri kontrol eden transkripsiyon faktörlerini indüklediği ve bu yolla kapsamlı bir düzenleme sağladığı bilinmektedir (Zhao ve ark., 2023). GABA ayrıca hücrel yapıları koruyan dehidrinlerin ekspresyonunu artırarak kuraklık sırasında bitki toleransını desteklemektedir (Sita ve Kumar, 2020). Bunun yanı sıra, absisik asit (ABA), oksin ve etilen gibi hormon sinyal yollarını etkileyerek kuraklık stres tepkilerinin düzenlenmesinde de önemli bir rol oynar. GABA uygulaması, ABA biyosentez genlerinin ekspresyonunu azaltarak hormon seviyelerini dengeler ve buna bağlı stres tepkilerini modüle eder (Xu ve ark., 2021). Ayrıca, hücrel büyüme, klorofil biyosentezi, fotosentetik özellikler ve zar stabilitesini artırarak bitkilerde kuraklık toleransına katkı sağlar. Çeşitli bitki türlerinde yapılan çalışmalar, GABA uygulamalarının bitkilerin büyüme, fotosentetik özellikler, antioksidan savunma ve osmoregülasyon süreçlerini iyileştirdiğini göstermektedir. Örneğin, *Phaseolus vulgaris* L. bitkisine yapılan 0.5–2.0 mM GABA yaprak uygulaması, yaprak alanını, sürgün taze ve kuru ağırlığını artırarak osmotik düzenlemeyi, zar geçirgenliğini ve antioksidan savunmayı geliştirmiştir (Abd El-Gawad ve ark., 2021). Benzer şekilde, *Coix lacryma-jobi* L. bitkisinde 20 mM GABA, elektron taşıma zincirini

koruyarak oksidatif hasarı azaltmıştır (Ferreira ve ark., 2020). Çim bitkisinde (*Lolium perenne*) uygulanan 50–70 mM GABA, lipid peroksidasyonu ve elektrolit sızıntısını azaltırken su içeriği ve antioksidan aktiviteyi iyileştirmiştir (Krishnan ve ark., 2013). *Agrostis stolonifera* bitkisine uygulanan 0.5 mM GABA, yaprak su içeriğini, fotosentetik pigmentleri ve gen ekspresyonunu artırırken, amino asit ve organik asit birikimini teşvik ederek kuraklık toleransını yükseltmiştir (Li ve ark., 2018). Ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) bitkisine yapılan %50 sulama kapasitesinde 2.0 mg L⁻¹ GABA uygulaması, bitki boyu ve biyokütle artışını sağlamış, antioksidan enzim aktivitesinde önemli iyileşmeler rapor edilmiştir (Abdel Razik ve ark., 2021). Çörek otu (*Nigella sativa* L.) ve *Matricaria recutita* L. bitkilerinde ise GABA, klorofil içeriği ve prolin birikimini artırarak büyüme ve kuraklık toleransını desteklemiştir (Rezaei-Chiyaneh ve ark., 2018; Sadaghiani ve ark., 2019). Kara biber (*Piper nigrum* L.) bitkisinde yapılan GABA ön işlemleri, lipid peroksidasyonu azaltarak yaprak su içeriğini ve antioksidan aktiviteyi artırmıştır (Vijayakumari ve Puthur, 2016). Ak üçgül (*Trifolium repens*) bitkisinde 8.0 mM GABA uygulaması, GABA transaminaz ve poliamin üretimini teşvik ederek kuraklık toleransını artırmıştır (Yong ve ark., 2017). Bu çalışmalar, GABA'nın kuraklık stresi altındaki bitkilerde büyüme ve stres toleransını artırmada etkili bir araç olduğunu ve tarımsal verimliliği artırma potansiyeli taşıdığını göstermektedir.

SONUÇ

GABA, bitkilerde kuraklık stresi dahil olmak üzere çeşitli abiyotik streslere karşı dayanıklılığı artırmada çok yönlü bir bileşen olarak önemli bir rol oynamaktadır. Antioksidan savunma sistemini güçlendirmesi, ozmolit biyosentezini teşvik etmesi ve hormon sinyal yollarını düzenlemesi gibi özellikleriyle GABA, bitki metabolizmasında hem koruyucu hem de düzenleyici etkiler sunmaktadır. Ayrıca, farklı bitki türlerinde yapılan uygulama çalışmaları, GABA'nın fotosentetik kapasiteyi, osmoregülasyonu ve zar stabilitesini iyileştirerek büyüme ve verimlilik üzerinde olumlu etkilerini göstermiştir. Bununla birlikte, GABA'nın biyosentezi, metabolizması ve stres sinyal yollarıyla etkileşimleri üzerine yapılan çalışmalar, bu molekülün karmaşık işlevlerini daha iyi anlamak için önemli ipuçları sunmaktadır. Gelecekte, GABA'nın farklı genotiplerdeki etkilerinin ve kuraklık toleransı üzerindeki spesifik mekanizmalarının daha ayrıntılı bir şekilde araştırılması gerekmektedir. Ayrıca, GABA'nın karbon ve azot metabolizması ile bağlantılı olarak şeker ve yağ asidi biyosentezindeki rolünün keşfedilmesi, bu molekülün stres yönetiminde tarımsal uygulamalarını genişletebilir. Sonuç olarak, GABA'nın bitki biyolojisinde kritik bir stres düzenleyici olarak rolü, sürdürülebilir tarım stratejilerinde yenilikçi bir araç olarak değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır.

KAYNAKÇA

- Abd El-Gawad, H. G., Mukherjee, S., Farag, R., Abd Elbar, O. H., Hikal, M., Abou El-Yazied, A., ... & Ibrahim, M. F. (2021). Exogenous γ -aminobutyric acid (GABA)-induced signaling events and field performance associated with mitigation of drought stress in *Phaseolus vulgaris* L. *Plant Signaling & Behavior*, *16*(2), 1853384.
- Abdel Razik, E. S., Alharbi, B. M., Pirzadah, T. B., Alnusairi, G. S., Soliman, M. H., & Hakeem, K. R. (2021). γ -Aminobutyric acid (GABA) mitigates drought and heat stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.) by regulating its physiological, biochemical and molecular pathways. *Physiologia Plantarum*, *172*(2), 505-527.
- Ahmad, Z., Waraich, E. A., Akhtar, S., Anjum, S., Ahmad, T., Mahboob, W., ... & Rizwan, M. (2018). Physiological responses of wheat to drought stress and its mitigation approaches. *Acta Physiologiae Plantarum*, *40*, 1-13.
- Ali, S., Hayat, K., Iqbal, A., & Xie, L. (2020). Implications of abscisic acid in the drought stress tolerance of plants. *Agronomy*, *10*(9), 1323.
- Anjum, S. A., Xie, X. Y., Wang, L. C., Saleem, M. F., Man, C., & Lei, W. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African journal of agricultural research*, *6*(9), 2026-2032.
- Chaki, M., Begara-Morales, J. C., & Barroso, J. B. (2020). Oxidative stress in plants. *Antioxidants*, *9*(6), 481.
- Dai, A., Zhao, T., & Chen, J. (2018). Climate change and drought: a precipitation and evaporation perspective. *Current Climate Change Reports*, *4*, 301-312.
- Das, K., & Roychoudhury, A. (2014). Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. *Frontiers in environmental science*, *2*, 53.
- Daszkowska-Golec, A. (2016). The role of abscisic acid in drought stress: how ABA helps plants to cope with drought stress. *Drought Stress Tolerance in Plants, Vol 2: Molecular and Genetic Perspectives*, 123-151.

- Fang, W., Qi, F., Yin, Y., & Yang, Z. (2020). Exogenous spermidine promotes γ -aminobutyric acid accumulation and alleviates the negative effect of NaCl stress in germinating soybean (*Glycine max* L.). *Foods*, 9(3), 267.
- Farooq, M., Hussain, M., Wahid, A., & Siddique, K. H. M. (2012). Drought stress in plants: an overview. *Plant responses to drought stress: From morphological to molecular features*, 1-33.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N. S. M. A., Fujita, D. B. S. M. A., & Basra, S. M. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Sustainable agriculture*, 153-188.
- Ferreira, R. A., Borella, J., Hüther, C. M., do Canto, A. C. B., Correa, N. P. D. C., Correia, D. M., ... & Pereira, C. R. (2020). Drought-induced stress in leaves of *Coix lacryma-jobi* L. under exogenous application of proline and GABA amino acids. *Brazilian Journal of Botany*, 43(3), 513-521.
- Gahlotw, P., Tripathi, D. K., Singh, S. P., Gupta, R., & Singh, V. P. (2024). GABA in plants: developmental and stress resilience perspective. *Physiologia Plantarum*, 176(1), e14116.
- Hasan, M. M., Alabdallah, N. M., Alharbi, B. M., Waseem, M., Yao, G., Liu, X. D., ... & Fang, X. W. (2021). GABA: A key player in drought stress resistance in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(18), 10136.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Gill, S. S., & Fujita, M. (2013). Drought stress responses in plants, oxidative stress, and antioxidant defense. *Climate change and plant abiotic stress tolerance*, 209-250.
- Hossain, M. A., Bhattacharjee, S., Armin, S. M., Qian, P., Xin, W., Li, H. Y., ... & Tran, L. S. P. (2015). Hydrogen peroxide priming modulates abiotic oxidative stress tolerance: insights from ROS detoxification and scavenging. *Frontiers in plant science*, 6, 420.
- Hussain, S., Rao, M. J., Anjum, M. A., Ejaz, S., Zakir, I., Ali, M. A., ... & Ahmad, S. (2019). Oxidative stress and antioxidant defense in plants under drought conditions. *Plant abiotic stress tolerance: agronomic, molecular and biotechnological approaches*, 207-219.

- Jin, X., Liu, T., Xu, J., Gao, Z., & Hu, X. (2019). Exogenous GABA enhances muskmelon tolerance to salinity-alkalinity stress by regulating redox balance and chlorophyll biosynthesis. *BMC plant biology*, *19*, 1-15.
- Kapoor, D., Bhardwaj, S., Landi, M., Sharma, A., Ramakrishnan, M., & Sharma, A. (2020). The impact of drought in plant metabolism: How to exploit tolerance mechanisms to increase crop production. *Applied Sciences*, *10*(16), 5692.
- Khanna, R. R., Jahan, B., Iqbal, N., Khan, N. A., AlAjmi, M. F., Rehman, M. T., & Khan, M. I. R. (2021). GABA reverses salt-inhibited photosynthetic and growth responses through its influence on NO-mediated nitrogen-sulfur assimilation and antioxidant system in wheat. *Journal of Biotechnology*, *325*, 73-82.
- Khatun, M., Sarkar, S., Era, F. M., Islam, A. M., Anwar, M. P., Fahad, S., ... & Islam, A. A. (2021). Drought stress in grain legumes: Effects, tolerance mechanisms and management. *Agronomy*, *11*(12), 2374.
- Krishnan, S., Laskowski, K., Shukla, V., & Merewitz, E. B. (2013). Mitigation of drought stress damage by exogenous application of a non-protein amino acid γ -aminobutyric acid on perennial ryegrass. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *138*(5), 358-366.
- Kumar, N., Gautam, A., Dubey, A. K., Ranjan, R., Pandey, A., Kumari, B., ... & Mallick, S. (2019). GABA mediated reduction of arsenite toxicity in rice seedling through modulation of fatty acids, stress responsive amino acids and polyamines biosynthesis. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *173*, 15-27.
- Li, J., Zhou, Q., Zhou, X., Wei, B., Zhao, Y., & Ji, S. (2020). Calcium treatment alleviates pericarp browning of 'Nanguo' pears by regulating the GABA shunt after cold storage. *Frontiers in Plant Science*, *11*, 580986.
- Li, Z., Peng, Y., & Huang, B. (2018). Alteration of transcripts of stress-protective genes and transcriptional factors by γ -aminobutyric acid (GABA) associated with improved heat and drought tolerance in creeping bentgrass (*Agrostis stolonifera*). *International journal of molecular sciences*, *19*(6), 1623.

- Liu, J., Li, H., Yuan, Z., Feng, J., Chen, S., Sun, G., ... & Hu, T. (2024). Effects of microbial fertilizer and irrigation amount on growth, physiology and water use efficiency of tomato in greenhouse. *Scientia Horticulturae*, 323, 112553.
- Ma, Y., Wang, P., Chen, Z., Gu, Z., & Yang, R. (2018). GABA enhances physio-biochemical metabolism and antioxidant capacity of germinated hullless barley under NaCl stress. *Journal of plant physiology*, 231, 192-201.
- Mansoor, S., Ali Wani, O., Lone, J. K., Manhas, S., Kour, N., Alam, P., ... & Ahmad, P. (2022). Reactive oxygen species in plants: from source to sink. *Antioxidants*, 11(2), 225.
- Muhammad Aslam, M., Waseem, M., Jakada, B. H., Okal, E. J., Lei, Z., Saqib, H. S. A., ... & Zhang, Q. (2022). Mechanisms of abscisic acid-mediated drought stress responses in plants. *International journal of molecular sciences*, 23(3), 1084.
- Priya, M., Sharma, L., Kaur, R., Bindumadhava, H., Nair, R. M., Siddique, K. H. M., & Nayyar, H. (2019). GABA (γ -aminobutyric acid), as a thermo-protectant, to improve the reproductive function of heat-stressed mungbean plants. *Scientific Reports*, 9(1), 7788.
- Qiao, M., Hong, C., Jiao, Y., Hou, S., & Gao, H. (2024). Impacts of drought on photosynthesis in major food crops and the related mechanisms of plant responses to drought. *Plants*, 13(13), 1808.
- Rezaei-Chiyaneh, E., Seyyedi, S. M., Ebrahimian, E., Moghaddam, S. S., & Damalas, C. A. (2018). Exogenous application of gamma-aminobutyric acid (GABA) alleviates the effect of water deficit stress in black cumin (*Nigella sativa* L.). *Industrial Crops and Products*, 112, 741-748.
- Sadaghiani, F. M., Dehaghi, M. A., Pirzad, A., & Fotokian, M. H. (2019). Variation in yield and biochemical factors of German chamomile (*Matricaria recutita* L.) under foliar application of osmolytes and drought stress conditions. *Journal of Herbmед Pharmacology*, 8(2), 90-100.
- Salah, A., Zhan, M., Cao, C., Han, Y., Ling, L., Liu, Z., ... & Jiang, Y. (2019). γ -Aminobutyric acid promotes chloroplast ultrastructure, antioxidant capacity, and growth of waterlogged maize seedlings. *Scientific reports*, 9(1), 484.

- Salehi-Lisar, S. Y., & Bakhshayeshan-Agdam, H. (2016). Drought stress in plants: causes, consequences, and tolerance. *Drought stress tolerance in plants, Vol 1: physiology and biochemistry*, 1-16.
- Seifikalhor, M., Aliniaiefard, S., Hassani, B., Niknam, V., & Lastochkina, O. (2019). Diverse role of γ -aminobutyric acid in dynamic plant cell responses. *Plant cell reports*, 38, 847-867.
- Seifikalhor, M., Niknam, V., Aliniaiefard, S., Didaran, F., Tsaniklidis, G., Fanourakis, D., ... & Li, T. (2022). The regulatory role of γ -Aminobutyric acid in chickpea plants depends on drought tolerance and water scarcity level. *Scientific reports*, 12(1), 7034.
- Sharma, P., Jha, A. B., Dubey, R. S., & Pessarakli, M. (2012). Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of botany*, 2012(1), 217037.
- Sita, K., & Kumar, V. (2020). Role of Gamma Amino Butyric Acid (GABA) against abiotic stress tolerance in legumes: a review. *Plant Physiology Reports*, 25(4), 654-663.
- Steward, F. C. (1949). γ -Aminobutyric acid: a constituent of potato tubers?. *Science*, 110, 439-440.
- Ullah, A., Ali, I., Noor, J., Zeng, F., Bawazeer, S., Eldin, S. M., ... & Ali, H. (2023). Exogenous γ -aminobutyric acid (GABA) mitigated salinity-induced impairments in mungbean plants by regulating their nitrogen metabolism and antioxidant potential. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1081188.
- Vijayakumari, K., & Puthur, J. T. (2016). γ -Aminobutyric acid (GABA) priming enhances the osmotic stress tolerance in *Piper nigrum* Linn. plants subjected to PEG-induced stress. *Plant growth regulation*, 78, 57-67.
- Xie, C., Wang, P., Sun, M., Gu, Z., & Yang, R. (2021). Nitric oxide mediates γ -aminobutyric acid signaling to regulate phenolic compounds biosynthesis in soybean sprouts under NaCl stress. *Food Bioscience*, 44, 101356.
- Xu, B., Long, Y., Feng, X., Zhu, X., Sai, N., Chirkova, L., ... & Gilliam, M. (2021). GABA signalling modulates stomatal opening to enhance plant water use efficiency and drought resilience. *Nature communications*, 12(1), 1952.

- Yılmaz, H. (2023), Foliar Application of Ascorbic Acid and Green-Synthesized Nano Iron for Enhancing Drought Tolerance and Antioxidant Defense in Common Beans. *Black Sea Journal of Agriculture*, 7(6), 766-776.
- Yong, B., Xie, H., Li, Z., Li, Y. P., Zhang, Y., Nie, G., ... & Peng, Y. (2017). Exogenous application of GABA improves PEG-induced drought tolerance positively associated with GABA-shunt, polyamines, and proline metabolism in white clover. *Frontiers in physiology*, 8, 1107.
- Zarbaksh, S., Shahsavar, A. R., Afaghi, A., & Hasanuzzaman, M. (2024). Predicting and optimizing reactive oxygen species metabolism in *Punica granatum* L. through machine learning: role of exogenous GABA on antioxidant enzyme activity under drought and salinity stress. *BMC Plant Biology*, 24(1), 65.
- Zhao, Q., Ma, Y., Huang, X., Song, L., Li, N., Qiao, M., ... & Cheng, Y. (2023). GABA application enhances drought stress tolerance in wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.). *Plants*, 12(13), 2495.
- Zhao, Y., Xie, C., Wang, P., Gu, Z., & Yang, R. (2021). GABA regulates phenolics accumulation in soybean sprouts under NaCl stress. *Antioxidants*, 10(6), 990.

BÖLÜM 2

ENDOFİTİK BAKTERİLERİN FİTOREMEDİASYONA ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Sibel BOYSAN CANAL^{1*}

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14542965>

^{1*} Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Van, Türkiye. *sibelboysan@hotmail.com

GİRİŞ

Endofitik bakteriler, sterilize edilmiş bitki dokularından izole edilen ve konukçu bitkilerine gözle görülür bir zarar vermeyen bakteriler olarak tanımlanmaktadır (Santoyo ve ark., 2016). Endofitik bakteriler, yaygın olarak bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler (PGPR) olarak adlandırılan kök bakterilerinin bir alt sınıfı olarak kabul edilir (Reinhold-Hurek ve Hurek, 1998). Endofitik bakteriler, zorunlu hem aerobik hem de anaerobik ortamlarda çoğalabilen bakteri türü olarak sınıflandırılabilir. Zorunlu endofitler, büyümeleri ve hayatta kalmaları için konakçı bitkiye kesinlikle bağımlıdır. Diğer bitkilere bulaşma dikey olarak veya vektörler yoluyla gerçekleşir. Fakültatif endofitik bakterilerin yaşam döngülerinin bir aşamasında konakçı bitkilerin dışında bulunurlar. Genel olarak, endofitler bitki dokusuna öncelikle kök bölgesinden girer. Bununla birlikte, çiçekler, gövdeler ve kotiledonlar gibi bitkilerin yer üstü kısımlarını da giriş için kullanabilirler (Kobayashi ve Palumbo, 2000). Bir bitkinin içindeki endofitler ya giriş noktasında lokalize olabilir ya da bitki boyunca yayılabilir. Bu mikroorganizmalar hücreler içinde, hücreler arası boşluklarda bulunabilir (Reinhold-Hurek ve Hurek, 1998). Faydalı mikroorganizmalar arasında yer alan endofitik bakteriler, sadece konakçı bitkinin büyümesini teşvik etmekle kalmaz, bitkinin hem abiyotik hemde biyotik stres koşullarını iyileştirmesine yardımcı olurlar (Miliute ve diğ., 2015). Bu bölümde endofitik bakterilerin doğası, ağır metallerin giderimi için endofitik bakterilerin potansiyel işlevleri incelenecektir.

1. ENDOTİFİK BAKTERİLER VE FİTOREMEDİASYON

Ağır metal kirliliği, insan faaliyetleri sonucu tehlikeli ağır metallerin toprakta aşırı birikmesidir. Ağır metallerle kirlenmiş topraklar, insanlar ve ekosistem için risk ve tehlike oluşturabilir. Kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), çinko (Zn), cıva (Hg), arsenik (As), gümüş (Ag), krom (Cr), bakır (Cu), demir (Fe) ve platin grubu toprakta bulunan ağır metaller arasındadır. Son yıllarda küresel ekonominin genişlemesiyle birlikte, metal ve bazı ametallerin kullanımı, gübre ve pestisitlerin kullanımının giderek artması ağır metallerin topraktaki türü ve konsantrasyonunu önemli düzeyde etkilemektedir (Okçu ve ark., 2009). Organizmaya alınan metaller, metabolizma üzerindeki toksik etkilerini değişik yollarla yapabilmektedir. Ağır metaller bitki dokularında yüksek düzeyde bulunduğunda, canlılıkla ilgili çeşitli metabolik aktivitelerin değişmesine sebep olur (Phalsson, 1989). Bunlara örnek olarak: bitkinin beslenmesi, transpirasyon, fotosentez, enzim aktivitesi, nükleik asit yapısı, klorofil biyosentezi ve tohum çimlenmesi, membranlarda hasar, hormon dengesinin bozulması, bitki-su ilişkisinin değişmesi gibi metabolik olayların değişmesine sebep olur (Okçu ve ark., 2009). Bitki fonksiyonlarındaki kayıplar, başta ürün kaybı olmak üzere çifçi için ekonomik anlamda birçok olumsuzluğa neden olmaktadır (Munzuroğlu ve Gür, 2000). Ağır metaller, sadece organizmalarda birikmekle kalmayıp, aynı zamanda gıda zincirlerini dolaşarak ekosistemlerde tehlikeli yoğunluklarda uzun süre kalmaları yüksek toksik madde içermelerinden dolayı, insan ve hayvan sağlığı ve ürün üretimi üzerinde bir tehdit unsuru olabilirler (Sim ve ark., 2019). Kirlenmiş toprağı iyileştirmek için fizyolojik kimyasal yaklaşımlar yaygın olarak

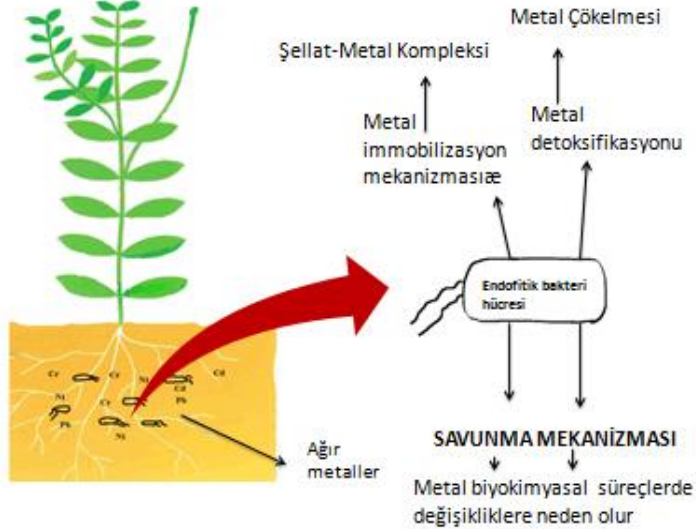
kullanılmaktadır. Ancak yüksek maliyet ve yan etkiler nedeniyle geniş ölçekli uygulamaları zordur. Fitoremediasyon, kirlenmiş ortamın iyileştirilmesi için potansiyel olarak kullanılacak, bitki bazlı, çevre dostu ve uygun maliyetli bir teknolojidir (Henry, 2000). Kökle ilişkili mikroplar, kirlenmiş toprakların kimyasal ve biyolojik özelliklerini düzeltmede önemli bir rol oynayabilir. Endofitik bakterilerin tümü bitki dokularının iç kısmında yaşayan, konakçıya zarar vermeyen ve hiçbir dış yapı geliştirmeyen mikroorganizmalardır. Bitki endofit simbiyoz ilişkisinde endofitler bitkilerden karbonhidrat alır ve karşılığında bitkinin biyotik ve abiyotik streslere karşı direncini geliştirir (Sim ve ark., 2016). Bitkiler metabolik aktivitelerini artıran vitamin ve besin maddelerini endofitik bakteriler sayesinde alabilirler. Ağır metallerin varlığında, biyotransformasyon, ekstrüzyon, enzim kullanımı, ekzopolisakkarit (EPS) üretimi ve metalotiyonin sentezi, mikroorganizmaların metal toksisitesine direnmek için kullandıkları savunma mekanizmalarıdır (Sharma ve ark., 2021a; Sharma ve ark., 2021b) (Şekil 1). Bitki hormonları, kök gelişim dinamiklerini etkileyerek toprak kalitesini iyileştirebilir. Endofitik kolonizasyon sıklıkla besin maddelerinin artırılmasını, bitki biyokütlesini ve emilimini teşvik eder (Phetcharat ve Duangpaeng, 2012). Ağır metallerin uzaklaştırılması için endofitik mikroorganizmaların kullanıldığı çeşitli hiperakümülatör bitki türleri keşfedilmiştir. Bunlar arasında kolza tohumu (*Brassica napus*), ekili tütün (*Nicotiana tabacum*), siyah itüzümü (*Solanum nigrum*), süs bitkileri (*Rosa longicuspis*, *Commelina communis*), çalılar (*Acacia decurrens*) ve (*Phragmites sp.*) kamış otu gibi kültür bitkileri yer alır (Mastretta ve

diğerleri 2009; Luo ve ark., 2011; Sim ve ark., 2016). Bu bitkilerden izole edilen endofitler benzer şekilde çeşitlidir. Bakteriler (*Pseudomonas fluorescens*, *Stenotrophomonas sp.*, *Clostridium aminovalericum*, *Microbacterium sp.*, *Flavobacterium sp.*, *Bacillus sp.*, *Acinetobacter sp.*), aktino-misetler ve mantarlar (*Trichoderma asperellum*, *Phomopsis sp.*, (*Saccharicola bicolor*, *Phoma sp.*, *Aspergillus sp.*, *Mucor sp.*) (Sim ve ark., 2019). Bakteriyel endofitlerin hücre duvarındaki peptidoglikan, metal bağlanmasına yardımcı olan N-asetilglukosamin (NAG) ve N-asetilmuramik asit (NAM) açısından zengindir (Das ve ark. 2008). Ayrıca, metalleri şelatlamak ve bağlamak için sülfat ve fosfat gibi çeşitli fonksiyonel gruplar mevcut olduğundan, metal bağlanması belirli bakteriler tarafından oluşturulan kapsüller veya balçık katmanları tarafından desteklenir (Sim ve ark. 2019). Endofitlerin metal giderme verimliliği, pH, sıcaklık ve metal konsantrasyonu gibi optimal büyüme koşullarının sağlanmasıyla artırılabilir. Bunlardan en önemlisi çökelmeyi, fonksiyonel grupların varlığını ve metal katyonları ile hidroksil grupları arasındaki rekabeti etkileyen pH tır ((Fu ve Wang, 2011). Endofitik bakteriler, ağır metalle kirli toprakta, azot fiksasyonu, IAA ve siderofor üretimi, fosfat çözündürme gibi çeşitli mekanizmalarla bitkinin büyüme ve gelişimini artırabilirler. Endofitik bakterilerin bitkiye sağladıkları besin elementleri ağır metal stres koşullarında büyüme ve gelişmeyi artırmaktadır. Bununla birlikte, kök bölgesinde, stoma düzenlemesi, kök morfolojisinin değişmesi, mineral besin elementi alımında artışa neden olur (Rajkumar ve ark., 2009; Ma ve ark., 2016). Endofitik bakteriler ağır metallerle kirli toprakta, fosfatın çözünebilir hale

gelmesinde etkilidir. Örneğin *N. tabacum*'dan izole edilen Cd dirençli endofitler tohumların Fe ve Zn alımını artırarak ağır metal toksisitesini azaltır (Mastretta ve ark., 2009). Endofitik bakterilerin siderofor üretimindeki artış Fe^{+3} formunda bitki kökleri tarafında demir alımında artışa neden olur. IAA ise bitkinin hücre bölünmesini uyararak bitkinin büyümesini artırır. Benzer olarak Rapeseed bitkisine uygulanan endofitik bakteri *Rahnella sp. JN6* Cd, Pb ve Zn ile kirli toprakta büyüme ve gelişiminde artışa neden olmuştur (He ve ark, 2013). Yürütülen bir çok çalışmada, endofitik bakteriler bitkilerin organik asitler, sideroforlar gibi metal şelatörlerin salgılanmasını teşvik ederler. Bu şelatörler rizosfer pH'sını değiştirmesine neden olur. Bu değişim, ağır metallerin mobilitesini ve immobilitesini etkilemektedir (Islam ve ark.,2014; Wang ve ark., 2023). Endofitik bakteriler ağır metallerle kirli toprakta kimi zamanda bitki gelişim ve büyümesinde artışa neden olması nedeniyle, bitkide Cd, Cr ve Pb için seyrelme etkisi nedeniyle bitkide biriken ağır metal konsantrasyonu değerinde düşüşe neden olabilmektedir (Babu ve ark., 2013) (Tablo 1). Bitkiler, besin içeriğine yardımcı ve metabolik aktiviteleri artıran, önemli vitaminleri endofitik bakterilerden alırlar. Bitki hormonları, kök gelişim dinamiklerini etkileyerek toprak kalitesi alımını iyileştirebilir. Endofitik kolonizasyon sıklıkla besin gelişimini, bitki biyokütlesini ve emilimini destekler. Buna göre son bulgular, bitki hormonları bitkilerin korunmasına yardımcı olur (Sharma ve Kumar, 2021c).

Mikroplar, bileşiklere yanıt olarak yerli metal direnci ve detoksifikasyon sistemleri geliştirmiştir (Dixit ve ark., 2015; Yang ve

ark., 2015) (Şekil 1). Toksin birikimi şu şekilde giderilebilir hücre dışı kimyasal çökeltme ve buharlaşma yoluyla. Mikroorganizmaların metal katyonlarına yapışmasını sağlayan anyonik yapıların varlığı ile hücre yüzeylerinde negatif bir yük vardır. Mikroorganizmalardaki negatif yük reseptörleri arasında fosforil, hidroksil, sülfonat, sülfhidril, amin, alkol, ester, karboksil, tiyol grupları ve tiyo-eter bulunur. Endofitik bakterilerin, bitki büyüme maddeleri üretme, ağır metal toleransı, ağır metallerin bitkiler için toksisitesini azaltma, bitkilere mineral sağlamak için, organik bileşikleri parçalama gibi biyolojik özelliklere sahip olduğu görülmektedir (Sharma ve Kumar, 2021) (Şekil 1). Bu bölümün içeriğini genelleştirmek için, endofitik bakterilerin ağır metalleri iyileştirmede bazı özellikleri Tablo 1' de gösterildiği gibi özetlenmiştir.



Şekil 1. Ağır metaller ile endofitik bakteriler arasındaki ilişki

Tablo 1. Ağır metallerle kirlenmiş toprağın endofitik bakterilerle fitoremediasyonu

Endofitik Bakteri	Metal	Endofitik bakterilerin bitki büyütme yöntemleri	Endofitik Bakterilerin, bitki metal toleransına etkisi	Kaynaklar
<i>Bacillus thuringiensis GDB-1</i>	As, Cu, Cd, Ni, Pb ve Zn	IAA, sideroforlar, ACCD üretimi ve fosfor (P) çözüldürülmesi	Metalle zenginleştirilmiş ve maden atığı özüt ortamında Pb, Zn, As, Cd, Cu ve Ni'nin biyolojik olarak uzaklaştırılması; Bitkide artan biyokütle, klorofil içeriği, nodül sayısı ve metal (As, Cu, Pb, Ni ve Zn) birikimi.	Babu ve ark., 2013
Actinobacteria, Proteobacteria	As, Cu	IAA, sideroforlar, ACCD ve arginin dekarboksilazinin üretimi	As(V) indirgeme hem de As (II) yükseltgeme. Bitki kuru ağırlığında artış	Zhu ve ark., 2014; Sun ve ark., 2010
<i>Microbacterium sp. NCr-8, Arthrobacter sp. NCr-1, Bacillus sp. NCr-5, Bacillus sp. NCr-9 ve Kocuria sp. NCr-3</i>	Ni	IAA, sideroforlar, ACCD üretimi	Bitki büyümesinde ve Ni taşınımında artış	Visioli ve ark., 2014
<i>Bacillus sp. MN3-4</i>	Pb, Cd, Zn, Ni ve Cu	IAA, sideroforlar, üretimi	Pb'nin biyolojik olarak uzaklaştırılması; Bitki fidelerinin kök uzamasında artış. Metallerin fitotoksitesinde azalma ve bitkide Pb birikiminde artış.	Shin ve ark., 2012
<i>Serratia nematodiphila LRE07</i>	Cd	IAA, sideroforlar, ACCD üretimi ve	Yaprak fotosentetik pigment içeriğinde artış. Bitki yaş ağırlığında artış.	Wan ve ark., 2012

			fosfor(P) çözündürülme si	
<i>Burkholderia sp. SaZR4, Burkholderia sp. SaMR10, Sphingomonas sp. SaMR12 ve Variovorax sp. SaNR1</i>	Cd ve Zn	IAA, sideroforlar, ACCD üretimi	Endofitik bakterilerden, SaMR12 ve SaNR1 bitki büyümesini ve Zn ve Cd fitoekstraksiyonunu artırdı. SaZR4 sadece Zn fitoekstraksiyonunu artırdı.	Zhang ve ark., 2013
<i>Pseudomonas koreensis AGB-1</i>	As, Cd, Cu, Pb ve Zn	IAA, sideroforlar, ACCD üretimi	Bitki yaş ağırlığında, klorofil ve protein içeriğinde artış. SOD(süperoksit dismutaz) katalaz enzim aktivitelerinde artış. Malondialdehit içeriğinde azalış.	Babu ve ark., 2015
<i>Pantoea agglomerans, G129K1-1) Bacillus mojavensis, G106K1</i>	Cd,Pb, Cr	IAA, sideroforlar, ACCD üretimi	Bitki yaş ağırlığında artış.Metallerin fitoekstraksiyonunda artış.	Canal ve ark.,2024

SONUÇ

Bitki-Endofitik bakteriler arasındaki etkileşimler bitkinin abiyotik strese dayanıklılığını artırır bu nedenle araştırmacılar tarafından daha yoğun bir çalışma için hedeflenirler. Gelişen dünyada, çok sayıdaki ülkede endofitik bakteriler başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Endofitik mikroorganizmaların fitoremediasyonda ağır metal giderme verimliliğini artırmak için uygulanması nispeten yenidir. Ancak hızla ilerlemektedir. Endofitik mikroorganizmaların varlığıyla, daha iyi büyüme, çevresel strese karşı artan direnç, ağır metal dönüşümü ve

emilim genleri sayesinde konak bitkilerin canlılığı ve ağır metal hiperbirikim kapasitesi artırılabilir. Endofitlerin bitkilerin içine aşılması, tarımsal üretimi artırdığı ve maliyeti etkin çiftçilik tekniklerini içerdiği için ekonomik olarak değerlidir. Bu nedenle, bitkiler ve mikroplar arasındaki ilişkiyi iyileştirmek için yönetim yöntemleri ve endofitik bakterilerin kullanımı geliştirmek esastır. Endofitik bakteriler bitki beslenmesinde ve bitki sağlığında önemli bir rol oynamasına rağmen, endofitik bakterilerin kendilerinin nasıl hayatta kalıp toksik ağır metal konsantrasyonlarına tolerans gösterdikleri ve diğer organizmalar için daha önce tanımlanmış hücresel ve moleküler mekanizmalara başvurup başvurmadıkları belirsizdir. Çeşitli hiperakümülatörlerdeki metal dirençli endofitlerin popülasyon dinamikleri ve aktivitesi hakkında daha fazla bilgi gereklidir. Ayrıca, endofit aşılmasının saha düzeyinde uygulanabilirliğini iyileştirmek için, çeşitli hiperakümülatörlerin fitoremediasyon potansiyeli üzerindeki metal dirençli endofitlerin rolü hakkında yoğun bir gelecek araştırmasına ihtiyaç vardır.

KAYNAKÇA

- Babu, A. G., Kim, J. D. & Oh, B. T. (2013). Enhancement of heavy metal phytoremediation by *Alnus firma* with endophytic *Bacillus thuringiensis* GDB-1. *J. Hazard. Mater.*, 250e251, 477e483.
- Babu, A. G., Shea, P. J., Sudhakar, D., Jung, I.B. & Oh, B. T. (2015). Potential use of *Pseudomonas koreensis* AGB-1 in association with *Miscanthus sinensis* to remediate heavy metal(loid)-contaminated mining site soil. *J. Environ. Manage*, 151,160e166.
- Boysan Canal, S., Bozkurt, M. A. & Ucar, C. P. (2024). The Effects of Endophytic Bacteria Along with Humic Acid and Biochar On Phytoremediation of Rapeseed (*Brassica Napus L.*). *Journal of Crop Health*, 1-11.
- Das N, Vimala R, &Karthika, P (2008). Biosorption of heavy metals—an overview. *Indian J Biotechnol.* , 7, 159–169.
- Dixit, R., Malaviya, D., Pandiyan, K., Singh, U. B., Sahu, A., Shukla, R., Singh, B. P., Rai, J. P., Sharma, P. K., Lade, H. & Paul, D. (2015). Bioremediation of heavy metals from soil and aquatic environment: an overview of principles and criteria of fundamental processes. *Sustainability*, 7 (2), 2189–2212.
- Fu, F. & Wang, Q. (2011). Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *Journalof Environmental Management*, 92(3), 407–418.
- He, H., Ye, Z., Yang, D., Yan, J., Xiao, L., Zhong, T., Yuan, M., Cai, X., Fang, Z. & Jing, Y. (2013). Characterization of endophytic *Rahnella* sp. JN6 from *Polygonum pubescens* andits potential in promoting growth and Cd, Pb, Zn uptake by *Brassica napus*. *Chemosphere*, 90 (6), 1960–1965.
- Henry, J. (2000). An Overview of The Phytoremediation of Lead and Mercury. U.S. EPA, Office of Solid Waste and Emergency Response Technology Innovation Office, 51 p.
- Islam, F., Yasmeen, T., Ali, Q., Ali, S., Arif, M. S., Hussain, S. & Rizvi H. (2014). Influence of *Pseudomonas aeruginosa* as PGPR on oxidative stress tolerance in wheat under Zn stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 104(1), 285–293.

- Kobayashi, D. Y. & Palumbo, J. D. (2000). Bacterial endophytes and their effects on plants and uses in agriculture. In: Bacon, C.W., White, J.F. (Eds.), *Microbial Endophytes*. Marcel Dekker, New York, pp. 199–236.
- Luo S. L., Chen L, Chen J. L., Xiao X., Xu T. Y., Wan Y., Rao, C., Liu, C.B., Liu, Y.T., Lai, C. & Zeng, G. M. (2011). Analysis and characterization of cultivable heavy metal-resistant bacterial endophytes isolated from Cd-hyperaccumulator *Solanum nigrum* L. and their potential use for phytoremediation. *Chemosphere*, 85:1130–1138.
- Ma, Y, Rajkumar, M., Zhang, C. & Freitas, H. (2016). Beneficial role of bacterial endophytes in heavy metal phytoremediation. *J Environ Manage*, 174, 14–25.
- Mastretta, C., Taghavi, S., Van der Lelie, D., Mengoni, A., Galardi, F., Gonnelli, C., Barac, T., Boulet, J., Weyens, N. ve Vangronsveld, J. (2009). Endophytic bacteria from seeds of *Nicotiana tabacum* can reduce cadmium phytotoxicity. *Int. J. Phytoremediat.*, 11, 251–267.
- Miliute, I., Buzaitė, O., Baniulis, D. & Stanys, V. (2015). Bacterial endophytes in agricultural crops and their role in stress tolerance: a review. *Zemdirbyste-Agriculture*, 102, 465–478.
- Munzuroğlu, Ö. & Nazmi G. (2000). Ağır Metallerin Elma (*Malus slyvestris* Miller cv. Golden)'da Polen Çimlenmesi ve Polen Tüpü Gelişimi Üzerine Etkileri. *Turk J.Biol.*, 24, 677-684.
- Okcu M., Tozlu E., Kumlay A. & Pehlivan M. (2009). Ağır Metallerin Bitkiler Üzerinde Etkileri, Iğdır Üniversitesi, *Alınteri*, 17 (B), 14-26.
- Phalsson, A. M. B. (1989). Toxicity of heavy metals (Zn,Cu,Cd,Pb) to vascular plants. *Water, Air, Soil Pollution*, 47, 287-319.
- Phetcharat, P. & Duangpaeng, A. (2012). Screening of endophytic bacteria from organic rice tissue for indole acetic acid production. *Procedia Engineering*, 32, 177–183.
- Rajkumar, M., Ae, N. & Freitas, H. (2009). Endophytic bacteria and their potential to enhance heavy metal phytoextraction. *Chemosphere*, 77, 153–160.
- Reinhold-Hurek, B. & Hurek, R. (1998). Life in grasses: diazotrophic endophytes. *Trends Microbiol.*, 6, 139–144.

- Santoyo, G., Moreno-Hagelsieb, G., del Carmen Orozco-Mosqueda, M. & Glick, B. R. (2016). Plant growth-promoting bacterial endophytes. *Microbiol. Res.*, *183*, 92–99.
- Sharma, P., Tripathi, S., Chaturvedi, P., Chaurasia, D. & Chandra, R. (2021a). Newly isolated *Bacillus* sp. PS-6 assisted phytoremediation of heavy metals using *Phragmites communis*: Potential application in wastewater treatment. *Bioresource Technology*, *320*, 124353.
- Sharma, P., Tripathi, S., Vadakedath, N. & Chandra, R. (2021b). In-situ toxicity assessment of pulp and paper industry wastewater on *Trigonella foenum-graecum* L: Potential source of cytotoxicity and chromosomal damage. *Environmental Technology & Innovation*, *21*, 101251.
- Sharma, P., & Kumar, S., (2021c). Bioremediation of heavy metals from industrial effluents by endophytes and their meta-bolic activity: recent advances. *Bioresource Technology*, *339*:125589.
- Shin, M., Shim, J., You, Y., Myung, H., Bang, K. S., Cho, M., Kamala-Kannan, S. & Oh, B. T. (2012). Characterization of lead resistant endophytic *Bacillus* sp. MN3-4 and its potential for promoting lead accumulation in metal hyperaccumulator *Alnus firma*. *J. Hazard. Mater.*, *199*:200, 314e320.
- Sim C. S. F., Tan W. S. & Ting, A. S. Y. (2016). Endophytes from *Phragmites* for metal removal: evaluating their metal tolerance, adaptive tolerance behaviour and biosorption efficacy. *Desalin Water Treat*, *57*, 6959–6966.
- Sim, C. S. F., Chen, S. H. & Ting, A. S. Y. (2019). Endophytes: Emerging tools for the bioremediation of pollutants. In R. N. Bharagava, & P. Chowdhary (Eds.), *Emerging and eco-Friendly approaches for waste management* (pp. 189-217).
- Sun, L. N., Zhang, Y. F., He, L. Y., Chen, Z. J., Wang, Q. Y., Qian, M. & Sheng, X. F. (2010). Genetic diversity and characterization of heavy metal-resistant endophytic bacteria from two copper-tolerant plant species on copper mine wasteland. *Bioresour. Technol.*, *101*, 501e509.
- Visioli, G., D'Egidio, S., Vamerali, T., Mattarozzi, M. & Sanangelantoni, A. M. (2014). Culturable endophytic bacteria enhance Ni translocation in the hyperaccumulator *Noccaea caerulea*. *Chemosphere*, *117*, 538e544.

- Yang, T., Chen, M. L. & Wang, J. H. (2015). Genetic and chemical modification of cells for selective separation and analysis of heavy metals of biological or environmental significance. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 66, 90–102.
- Zhang, X., Lin, L., Zhu, Z., Yang, X., Wang, Y. & An, Q. (2013). Colonization and modulation of host growth and metal uptake by endophytic bacteria of *Sedum alfredii*. *Int. J. Phytoremediat.*, 15(1), 51e64.
- Zhu, L. J., Guan, D. X., Luo, J., Rathinasabapathi, B. & Ma, L. Q. (2014). Characterization of arsenic-resistant endophytic bacteria from hyperaccumulators *Pteris vittata* and *Pteris multifida*. *Chemosphere*, 113, 9e16.
- Wan, Y., Luo, S., Chen, J., Xiao, X., Chen, L., Zeng, G., Liu, C. & He, Y. (2012). Effect of endophyte-infection on growth parameters and Cd-induced phytotoxicity of Cd-hyperaccumulator *Solanum nigrum* L. *Chemosphere*, 89 (6), 743e750.
- Wang, X., Luo, S., Chen, Y., Zhang, R., Lei, L., Lin, K. & Xu, H. (2023). Potential of *Miscanthus floridulus* associated with endophytic bacterium *Bacillus cereus* BL4 to remediate cadmium contaminated soil. *Sci. Total Environ.*, 857, 159384.

BÖLÜM 3

TÜRKİYE'DE TEMEL TAHİL ÜRÜNLERİNDE VERİMLİLİĞİ KISITLAYAN SORUNLAR VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK STRATEJİLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Sipan SOYSAL^{1*}
Doç. Dr. Abdurrahim YILMAZ²
Prof. Dr. Vahdettin ÇİFTÇİ³

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14542971>

^{1*} Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt, Türkiye. sipansoyosal@siirt.edu.tr

² Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Bolu, Türkiye. abdurrahimyilmaz@ibu.edu.tr

³ Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Bolu, Türkiye. vahdettinciftci@ibu.edu.tr

GİRİŞ

Türkiye’de tarımsal üretim sisteminin temel taşlarından biri olan buğday, arpa, mısır ve çeltik gibi tahıl ürünleri hem ekonomik hem de toplumsal açıdan kritik bir rol oynamaktadır. Bu ürünler, Türkiye'nin gıda güvenliği politikalarının temelini oluşturmakla kalmaz, aynı zamanda kırsal istihdam ve geçim kaynaklarının korunmasında önemli bir yer tutar. Ekmek, bulgur ve pirinç gibi temel besinlerin ana kaynağını oluşturarak Türkiye’deki beslenme güvenliğini sağlamakta ve kırsal kalkınmayı desteklemektedir. Ayrıca, tahıl ürünlerinin Türkiye’deki sosyal ve kültürel dokudaki yeri de çok güçlüdür; geçmişten günümüze, tahıl ürünleri toplumsal hafızada yer etmiş ve Anadolu’nun tarımsal zenginliğini yansıtan bir unsur olarak değer kazanmıştır.

Türkiye, dünya genelinde buğday üretiminde önemli bir konumda olup, bu ürün gıda güvenliği açısından stratejik bir öneme sahiptir. Buğday, ekmek üretiminde temel bir malzeme olarak kullanılması nedeniyle, toplumun beslenmesinde merkezi bir rol oynamaktadır (Yılmaz ve Tomar, 2022). Ayrıca, tahıl ürünleri, Türkiye'nin tarımsal ihracatında önemli bir yer tutmakta ve bu ürünlerin dış ticareti, ülkenin ekonomik dengesi için kritik bir unsur oluşturmaktadır (Kalaycı ve ark., 2017). Tahıl ürünlerinin beslenme üzerindeki etkisi de göz ardı edilemez. Türkiye'de tahıllar, diyet lifi, vitamin ve mineral kaynakları olarak önemli bir besin grubunu temsil eder. Son yıllarda, tahıl ürünleri, çeşitli katkı maddeleri ile zenginleştirilerek daha sağlıklı hale getirilmeye çalışılmaktadır (Barışık ve Tavman, 2018).

Türkiye'de tahıl ürünleri hem ekonomik hem de beslenme açısından vazgeçilmez bir yere sahiptir. Bu ürünlerin üretimi ve tüketimi, ülkenin gıda güvenliği, ekonomik istikrarı ve halk sağlığı açısından kritik bir rol oynamaktadır. Tarımsal politikaların ve üretim stratejilerinin, tahıl ürünlerinin sürdürülebilirliğini sağlamak adına sürekli olarak gözden geçirilmesi gerekmektedir.

1. TÜRKİYE'DE TAHIL ÜRÜNLERİNDE VERİMLİLİĞİ KISITLAYAN BAŞLICA SORUNLAR

Geniş kuru tarım alanlarında tahıl-nadas rotasyonuna güvenmek, toprak verimliliğini azaltarak organik madde ve temel besin maddelerinin kaybına yol açmaktadır (Saylan ve Avcı, 2022). Bu durum, uygunsuz arazi kullanım uygulamalarının da etkisiyle, toprak erozyonunu hızlandırmakta ve toprak su içeriğinin kaybına katkıda bulunmaktadır (Oloyede ve ark., 2016). Bu uygulamaların sonuçları, ülkenin gıda güvenliği için kritik öneme sahip olan tahıl ürünlerinin azalan veriminde ve genel üretkenliğinde belirginliğini korumaktadır. Dahası, kırsal Türkiye'nin sosyo-ekonomik bağlamı durumu karmaşıklştırmaktadır. Birçok çiftçi, düşük eğitim imkânı ve çiftlik dışı istihdam fırsatlarına sınırlı erişim ile karakterize edilen geleneksel kırsal yapılarda faaliyet göstermektedir. İnsan sermayesine yapılan bu yatırım eksikliği, üretkenliği artırabilecek yenilikçi tarım uygulamalarının benimsenmesini kısıtlamaktadır. Sürdürülebilirliği teşvik etmek ve üretim seviyelerini iyileştirmek için, eğitim ve kapasite geliştirmeye odaklanan etkili tarım programları aracılığıyla yerel topluluklara yatırım yapmak esastır (Aksakal ve ark., 2016). Bu

tür yatırımlar, istihdam fırsatlarının artmasına ve organik tarım ve hayvancılık üretiminde girişimciliğin teşvik edilmesine yol açabilir.

Türkiye topraklarının %75'inden fazlasında organik madde eksikliği bulunmaktadır (Ulus ve Yavuzaslanoğlu, 2017). Bu durum, tahıl bitkilerinin besin alımını olumsuz etkileyerek verimlilikte azalmaya neden olmaktadır. Organik madde eksikliği özellikle İç Anadolu bölgesinde daha belirgin olup, bölge topraklarının büyük bir kısmını (%86) organik madde kapsamı az ve çok az olan topraklar oluşturmaktadır (Akın ve Taşova, 2019). Bu da ülkemiz toprak verimliliğini sınırlayan faktörlerin başında gelmektedir.

Makine kullanımı, Türkiye'deki tarımsal üretimde önemli bir rol oynamaktadır. Altuntaş, Türkiye'deki tarım makineleri kullanım projeksiyonlarını incelemiş ve tarımsal üretimdeki makine kullanımının yetersiz olduğunu vurgulamıştır (Altuntaş, 2020). Tarım makinelerinin etkin kullanımı, verimliliği artırmak için kritik öneme sahiptir. Ancak, bu makinelerin temininde yaşanan zorluklar ve finansman eksiklikleri, üreticilerin modern tarım tekniklerini benimsemelerini engellemektedir (Küçükarpacı ve Ülev, 2023).

İklim değişikliği ve çevresel faktörler de tahıl verimliliğini etkileyen diğer önemli unsurlardır. Türkiye'de kuraklık koşullarının artması, tahıl üretiminde ciddi sorunlara yol açmaktadır. Tarımsal üretim ile iklim değişikliği arasındaki bağın tarımsal verimlilik üzerinde olumsuz etkileri gün geçtikçe daha çok görülmektedir (Çetin ve ark., 2020). Ayrıca, Türkiye'deki tarımsal arazilerin ikili kullanımı ve bu

durumun getirdiği gelir-gider dengesizlikleri de verimliliği etkileyen faktörler arasında yer almaktadır (Şentürk, 2023).

Sonuç olarak, Türkiye'de tahıl ürünlerinde verimliliği kısıtlayan başlıca sorunlar, tarımsal sürdürülebilirlik, makine kullanımı, finansman eksiklikleri ve iklim değişikliği gibi çok boyutlu unsurlardan oluşmaktadır. Bu sorunların çözülmesi, tarımsal üretimin artırılması ve sürdürülebilir bir tarım politikası geliştirilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

2. TAHIL ÜRETİMİNDE VERİMLİLİĞİ ARTIRMAYA YÖNELİK ÇALIŞMALAR VE ÖNERİLER

Türkiye'de tahıl üretiminin verimliliği, tarımsal uygulamalar, ekonomik politikalar, çevresel faktörler ve teknolojik gelişmeler hakkında kapsamlı bir anlayış gerektiren çok yönlü bir konudur. Son çalışmalar, ülkede gıda güvenliği ve ekonomik istikrarı sağlamak için hayati önem taşıyan tahıl üretim verimliliğini artırmayı amaçlayan çeşitli stratejiler ve öneriler vurgulamıştır.

Türkiye'de tahıl üretiminin karşı karşıya olduğu temel zorluklardan biri, toprak sağlığını ve verimliliğini olumsuz etkilediği gösterilen geleneksel toprak işleme uygulamalarına güvenilmesidir. Çelik ve ark. (2018), geleneksel toprak işleme yöntemlerinin yaygın kullanımının, toprağın fiziksel özelliklerinin önemli ölçüde bozulmasına yol açtığını vurgulamaktadır. Bu bozulma, su tutulmasının azalmasına ve erozyonun artmasına neden olabilir ve sonuçta ürün verimini etkileyebilir. Azaltılmış toprak işleme ve sıfır toprak işleme sistemleri

gibi koruma amaçlı toprak işleme uygulamalarına geçiş, dünya çapında toprak sağlığını iyileştirebilen ve verimliliği artırabilen sürdürülebilir bir alternatif olarak kabul edilmiştir. Bu uygulamaların Türkiye'de uygulanması, toprak yapısını ve nem tutulmasını iyileştirerek tahıl üretim verimliliğini önemli ölçüde artırabilir.

Toprak işleme uygulamalarına ek olarak, ürünlerin genetik çeşitliliğinin artırılmasının tarımsal dayanıklılığı ve üretkenliği geliştirmede önemli bir rol oynadığı görülmektedir. Genetik çeşitliliğin artırılması, tarımsal ürünlerin iklim değişikliği gibi çevresel zorluklara karşı dayanıklılığını artırmak için de kritik öneme sahiptir. Araştırmalar, genetik çeşitliliğin, bitkilerin iklim değişikliğine adaptasyon yeteneğini artırdığını göstermektedir (Dawson ve ark., 2015; Usubaliev ve ark., 2020). Örneğin, farklı iklim koşullarında yetiştirilen arpa çeşitleri, genetik çeşitlilik sayesinde çevresel değişikliklere daha iyi uyum sağlayabilmektedir (Usubaliev ve ark., 2020). Ayrıca, genetik çeşitlilik, tarımsal ürünlerin hastalıklara karşı direncini artırarak, tarımsal verimliliği sürdürülebilir kılmaktadır (Gibson ve Nguyen, 2021). Sonuç olarak, tarım ürünlerinde genetik çeşitliliğin artırılması hem çevresel adaptasyon hem de gıda güvenliği açısından hayati bir öneme sahiptir. Modern biyoteknoloji ve geleneksel tarım yöntemlerinin birleşimi, bu çeşitliliğin sağlanmasında etkili bir strateji sunmaktadır. Bu bağlamda, genetik çeşitliliğin korunması ve artırılması, gelecekteki tarımsal sürdürülebilirlik için kritik bir hedef olmalıdır.

Organik tarım uygulamalarının entegrasyonu, tahıl üretim verimliliğini artırmak için uygulanabilir bir strateji olarak önerilmektedir. Aksakal ve ark. (2016), organik tarımın teşvik edilmesinin kimyasal girdilere daha az bağımlı sürdürülebilir üretim sistemlerine yol açabileceğini savunmaktadır. Bu değişim yalnızca çevreye fayda sağlamakla kalmaz, aynı zamanda tarımsal ürünlerin kalitesini de artırarak potansiyel olarak daha yüksek pazar fiyatlarına ve artan çiftçi gelirlerine yol açar. Organik uygulamaların benimsenmesi, çiftçiler için uygun eğitim ve destekle birleştirildiğinde, Türkiye'de daha sürdürülebilir bir tarım ortamı oluşturabilir.

Tarımdaki enerji tüketim kalıpları da üretim verimliliğini önemli ölçüde etkiler. Gunduz ve ark. (2023), Türk tarımındaki artan enerji tüketiminin ekonomik büyüme ve küreselleşmeyle yakından bağlantılı olduğunu belirtmektedir. Ancak, geleneksel enerji kaynaklarına bağımlılık çevresel zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş ve enerji verimliliği uygulamalarını teşvik etmek, tarımsal üretimin çevresel ayak izini azaltırken aynı zamanda çiftçiler için operasyonel maliyetleri düşürebilir. Bu değişim, tahıl üretiminde uzun vadeli sürdürülebilirliğe ulaşmak için olmazsa olmazdır.

Entegre zararlı yönetimi (IPM) stratejilerinin uygulanması, tahıl üretim verimliliğini artırmak için hayati öneme sahiptir. Araştırmalar, geleneksel çiftçilik uygulamalarının genellikle aşırı pestisit kullanımına yol açtığını ve bunun da çevreye ve insan sağlığına zarar

verebileceğini göstermektedir (Turgut ve ark., 2011). Çiftçiler, IPM'yi benimseyerek ürün verimlerini korurken kimyasal girdilere olan bağımlılıklarını azaltabilirler. Bu yaklaşım yalnızca çevresel sürdürülebilirliği teşvik etmekle kalmaz, aynı zamanda tarımsal ürünlerin güvenliğini ve kalitesini de artırır.

Su yönetimi, Türkiye'de tahıl üretim verimliliğini etkileyen bir diğer kritik faktördür. Muratoğlu (2020), özellikle Türkiye'de temel bir ürün olan buğday üretimi bağlamında etkili su yönetimi stratejilerine olan ihtiyacı vurgulamaktadır. Çalışma, tarımsal uygulamaların su ayak izinin anlaşılmasının önemini vurgulamakta ve su kullanımının optimize edilmesinin üretkenlikte önemli iyileştirmelere yol açabileceğini öne sürmektedir. Gelişmiş sulama tekniklerinin uygulanması ve su tasarrufu uygulamalarının teşvik edilmesi, tahıl üretim verimliliğini artırmaya yönelik önemli adımlardır.

İklim değişikliği, özellikle yetiştirme koşullarını değiştirme ve aşırı hava olaylarının sıklığını artırma açısından tarımsal üretkenliğe önemli zorluklar getirmektedir. Karahasan ve Pinar (2023), iklim değişikliğinin Türkiye'deki tarımsal üretim üzerindeki etkisini araştırarak, artan sıcaklıkların tahıl üretimini olumsuz etkilediğini ortaya koymaktadır. Bu etkileri azaltmak için, tarımsal sistemlerin dayanıklılığını artıran uyarlanabilir stratejiler geliştirmek çok önemlidir. Bu, iklime dayanıklı ürün çeşitlerinin geliştirilmesini ve toprak sağlığını ve biyolojik çeşitliliği iyileştiren tarımsal ekolojik uygulamaların benimsenmesini içerebilir.

Teknolojik gelişmeler de tahıl üretim verimliliğini artırmada hayati bir rol oynar. Hassas tarım teknolojilerinin benimsenmesi girdi kullanımını optimize edebilir ve ürün yönetimi uygulamalarını geliştirebilir. Örneğin, veri analitiği ve uzaktan algılamanın kullanılması çiftçilerin ekim, gübreleme ve sulama konusunda bilinçli kararlar almasına yardımcı olabilir (Takahashi ve ark., 2020). Bu teknolojileri benimseyerek, Türk çiftçiler çevresel etkileri en aza indirirken üretkenliklerini artırabilirler.

Ayrıca, tahıl üretim verimliliğini artırmayı amaçlayan politikalar geliştirirken Türkiye'deki tarımsal faaliyetlerin mekansal dağılımı dikkate alınmalıdır. Yu ve ark. (2014), farklı bölgelerdeki tarımsal çıktı esnekliklerindeki farklılıkları vurgulayarak, politikaların bölgesel karşılaştırmalı avantajları tanıyacak şekilde uyarlanması gerektiğini öne sürmektedir. Çeşitli tarım bölgelerinin benzersiz özelliklerini anlayarak, tarım politikalarını belirleyen kurumlar belirli alanlarda üretkenliği artıran hedefli müdahaleler uygulayabilirler.

Diğer taraftan uyarlanabilir stratejilere duyulan ihtiyaç oldukça kritiktir. Örneğin, tahılları baklagillerle birlikte yetiştirmek gibi ürün çeşitlendirme stratejilerinin entegre edilmesinin toprak verimliliğini artırdığı ve genel üretkenliği iyileştirdiği gösterilmiştir (Bedoussac ve ark, 2015). Bu yaklaşım yalnızca toprak bozulmasını ele almakla kalmaz, aynı zamanda iklim değişkenliği karşısında çiftçilik sistemlerinin dayanıklılığına da katkıda bulunur.

Sürdürülebilir çiftçilik uygulamalarını teşvik etmede devlet desteğinin rolü göz ardı edilemez. Organik çiftçilik ve iyi tarım uygulamaları gibi sürdürülebilir uygulamalar için finansal teşvikler ve destek ödemeleri, çiftçileri daha çevre dostu yöntemler benimsemeye teşvik etmek için elzemdir (Gürbüz ve Özkan, 2021). Ancak, bu programların etkinliği genellikle bürokratik yetersizlikler ve çiftçiler arasında sürdürülebilir uygulamaların faydaları konusunda farkındalık eksikliği nedeniyle yeterince değerlendirilememektedir. Bu nedenle, tarımda sürdürülebilirlik kültürünü teşvik etmek için mevcut destek mekanizmaları hakkında iletişim ve eğitimin artırılması çok önemlidir. Hassas tarım tekniklerinin tanıtılması, tahıl çiftçiliğinde üretkenliği artırmak için de umut verici bir yol sunmaktadır. Çiftçiler, toprak ve ürün yönetimi için gelişmiş teknolojilerden yararlanarak girdi kullanımını optimize edebilir, atığı azaltabilir ve verimi artırabilir (Diacono ve ark., 2013). Hassas tarım, tahıl üretiminde genellikle sınırlayıcı bir faktör olan besin yönetimiyle ilgili sorunların ele alınmasına yardımcı olabilir. Örneğin, hassas azot yönetiminin azot kullanım verimliliğini artırdığı ve böylece çevresel etkileri en aza indirirken ürün verimini artırdığı gösterilmiştir (Diacono ve ark., 2019). Bu teknolojik gelişmelere ek olarak, sürdürülebilir yoğunlaştırma uygulamalarının teşvik edilmesi, Türkiye'de tahıl üretiminin karşılaştığı zorlukların ele alınması için hayati önem taşımaktadır. Sürdürülebilir yoğunlaştırma, ürün rotasyonu, örtü bitkisi ve azaltılmış toprak işleme gibi uygulamalar yoluyla çevresel etkileri azaltırken üretkenliği artırmayı içermektedir (Di Bene ve ark., 2022). Bu uygulamalar, sürdürülebilir tahıl üretimi için gerekli olan

toprak sağlığını geri kazandırmaya, su tutulmasını iyileştirmeye ve biyolojik çeşitliliği artırmaya yardımcı olabilir.

Tarımsal ekolojik ilkelerin çiftçilik sistemlerine entegre edilmesi sürdürülebilirliği daha da artırabilir. Ekolojik etkileşimlere ve doğal kaynakların kullanımına odaklanarak, agroekolojik yaklaşımlar iklim değişikliğine karşı dayanıklılığı artırabilir ve kimyasal girdilere olan bağımlılığı azaltabilir (Kiwia ve ark., 2019). Daha bütünsel çiftçilik uygulamalarına doğru bu kayma yalnızca çevreye fayda sağlamakla kalmaz, aynı zamanda tahıl üretim sistemlerinin uzun vadeli sürdürülebilirliğini de destekler.

Türkiye’de tahıl üretiminin sürdürülebilirliğini ve verimliliğini artırmaya yönelik devlet destekleri, teşvik programları ve tarımsal projelerden oluşan geniş bir yelpazeye sahiptir. Bu bağlamda, devletin sunduğu tarımsal teşvikler, Milli Tarım Projesi gibi yerli tohum destek programları ve büyük ölçekli GAP, KOP projeleri gibi sulama yatırımları, tahıl üretiminde verimliliği artırmayı hedeflemektedir. Türkiye’deki üniversiteler de bu kapsamda dayanıklı tahıl çeşitlerinin geliştirilmesine yönelik araştırmalara odaklanmakta, yerli tohum ıslah çalışmaları ve modern tarım teknikleriyle verimlilik artırıcı çözümler sunmaktadır. Bu kapsamlı girişimler, Türkiye’de tahıl üretiminin sürdürülebilirliğini sağlamak için devlet ve akademik iş birliğinin önemini gözler önüne sermektedir. Devlet, kırsal alanlarda tarımda modern tekniklerin kullanılmasını teşvik etmekte ve çiftçilere finansal destek sağlamaktadır. Çeşitli programlar kapsamında modern sulama sistemleri, gübreleme teknikleri ve tarım makinelerinin kullanımı

yaygınlaştırılarak verimlilik artırılmaktadır. Tarım Sigortaları Havuzu (TARSİM), çiftçilerin doğal afetler ve iklim değişikliği etkileri nedeniyle yaşadığı kayıpları telafi ederek tarımsal üretimde sürekliliği sağlamaktadır. Devletin verdiği prim desteği ile çiftçilerin sigorta programlarına erişimi artırılmakta ve böylece doğal afetlerden kaynaklanan verim kayıpları azaltılmaktadır.

Türkiye'de tahıl üretiminde verimliliği artırmak, sürdürülebilir tarım uygulamalarını, finansal desteği, teknolojik yeniliği ve etkili kaynak yönetimini kapsayan çok yönlü bir yaklaşım gerektirir. Türkiye, bu birbirine bağlı faktörleri ele alarak tahıl üretim kapasitesini artırabilir, halkı için gıda güvenliğini ve ekonomik istikrarı sağlayabilir.

SONUÇ

Türkiye'de tahıl üretimi, sadece ülkenin beslenme ve gıda güvenliği açısından değil, aynı zamanda ekonomik sürdürülebilirliği ve kırsal kalkınması için de stratejik bir öneme sahiptir. Buğday, arpa, mısır ve çeltik gibi temel tahıl ürünleri, Türkiye'nin hem geleneksel tarım yapısını yansıtan hem de gelecekteki gıda güvenliğini şekillendirecek unsurlar arasında yer alır. Ancak, son yıllarda iklim değişikliği, doğal kaynakların aşırı kullanımı, toprak verimliliğinin azalması ve tarımsal girdi maliyetlerinin artışı gibi çeşitli faktörler, tahıl verimliliğinde ciddi sınırlamalar oluşturmaktadır.

Bu koşullara karşı Türkiye'de yürütülen devlet destekli tarım projeleri, yerli tohumların geliştirilmesi ve modern tarım tekniklerinin yaygınlaştırılması gibi uygulamalar, verimliliğin artırılması yönünde

önemli katkılar sunmaktadır. Aynı şekilde, üniversitelerde yürütülen araştırmalar; tahıl çeşitlerinin dayanıklılığını artırma, su kaynaklarını etkin kullanma ve sürdürülebilir tarım yöntemlerini geliştirme konularında önemli sonuçlar elde etmektedir.

Tüm bu çabaların başarılı olması için, devlet politikaları ve akademik çalışmaların güçlü bir iş birliği içinde yürütülmesi gerekmektedir. Yerel koşullara uygun, verimliliği artırıcı yöntemlerin çiftçilere ulaştırılması ve tarım alanında sürdürülebilirlik odaklı bir yaklaşım benimsenmesi, Türkiye'nin kendi kendine yeterlilik hedefleri açısından kritik rol oynamaktadır. Dolayısıyla, tahıl üretiminde sürdürülebilir ve verimli bir yapının inşası için sistematik, bilimsel ve uzun vadeli politikalar geliştirilmelidir. Bu tür stratejiler, Türkiye'nin tahıl üretiminde güçlü ve bağımsız bir yapı oluşturmasına katkı sağlayacaktır.

Türkiye'nin tahıl sektöründeki üretkenlik zorlukları çok yönlüdür ve çevresel, ekonomik ve sosyal boyutları kapsayan koordineli bir yaklaşım gerektirir. Sürdürülebilir uygulamalarla toprak bozulmasının ele alınması, insan sermayesine yatırım yapılması, iklim değişikliğine uyum sağlanması ve hükümet desteğinin kullanılması kapsamlı bir stratejinin kritik bileşenleridir. Ayrıca, hassas tarım ve tarımsal ekolojik ilkelerin benimsenmesi daha sürdürülebilir ve üretken bir tahıl sektörünün önünü açabilir.

Türkiye'de tahıl üretiminin sürdürülebilirliği, yenilikçi uygulamalar ve politikalar yoluyla mevcut zorlukların üstesinden gelme yeteneğine

bağlıdır. Türkiye, sürdürülebilirlik kültürünü teşvik ederek ve gerekli kaynaklara yatırım yaparak, çevresel korumayı ve sosyal eşitliği sağlarken tahıl sektörünün üretkenliğini artırabilir. İleriye giden yol, büyüyen bir nüfusun taleplerini karşılayabilen ve çevreyi koruyan dayanıklı bir tarım sistemi oluşturmak için çiftçiler, politika yapıcılar ve araştırmacılar arasında iş birliği gerektirir.

KAYNAKÇA

- Akın, A., & Taşova, H. (2019). İç Anadolu Bölgesi tarım topraklarının bazı verimlilik parametrelerinin belirlenerek haritalanması. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 32, 1-6.
- Aksakal, V., Haşimoğlu, S., Bayram, B., Erdoğan, Y., Altun, H., & Cengiz, M. (2016). Sustainability organic agriculture and livestock production with respect to european union in eastern anatolia and east black sea regions. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 4(11), 1024.
- Altuntaş, E. (2020). Türkiye'deki tarım makineleri kullanım projeksiyonunun tahmini. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 6(3), 506-516.
- Barışık, D., & Tavman, Ş. (2018). Glütensiz ekme formülasyonlarında nohut unu kullanımının ekmeğin kalitesi üzerine etkisi. *Akademik Gıda*, 16(1), 33-41.
- Bedoussac, L., Journet, E. P., Hauggaard-Nielsen, H., Naudin, C., Corre-Hellou, G., Jensen, E. S., ... & Justes, E. (2015). Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming. A review. *Agronomy for sustainable development*, 35, 911-935.
- Çelik, İ., Günal, H., Acar, M., Bereket, Z., Acir, N., & Budak, M. (2018). Long-term tillage induced changes in physical attributes of a clayey soil in eastern mediterranean region. "Agriculture for Life Life for Agriculture" Conference Proceedings, 1(1), 32-39.
- Çetin, M., Saygın, S., & Demir, H. (2020). Tarım sektörünün çevre kirliliği üzerindeki etkisi: türkiye ekonomisi için bir eşbütünleşme ve nedensellik analizi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 17(3), 329-345.
- Dawson, I. K., Russell, J., Powell, W., Steffenson, B., Thomas, W. T., & Waugh, R. (2015). Barley: a translational model for adaptation to climate change. *New Phytologist*, 206(3), 913-931.
- Di Bene, C., Dolores Gómez-López, M., Francaviglia, R., Farina, R., Blasi, E., Martínez-Granados, D., & Calatrava, J. (2022). Barriers and opportunities for sustainable farming practices and crop diversification strategies in

- Mediterranean cereal-based systems. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 861225.
- Diacono, M., Balddivieso-Freitas, P., & Sans Serra, F. X. (2019). Nitrogen utilization in a cereal-legume rotation managed with sustainable agricultural practices. *Agronomy*, 9(3), 113.
- Diacono, M., Rubino, P., & Montemurro, F. (2013). Precision nitrogen management of wheat. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 33, 219-241.
- Gibson, A. K., & Nguyen, A. E. (2021). Does genetic diversity protect host populations from parasites? A meta-analysis across natural and agricultural systems. *Evolution Letters*, 5(1), 16-32.
- Gunduz, O., Korkmaz, O., & Ceyhan, V. (2023). The link among energy consumption, growth and globalization in Turkish agriculture. *International Journal of Energy Sector Management*, 17(3), 531-551.
- Gürbüz, İ., & Ozkan, G. (2021). A holistic approach in explaining farmers' intentional behaviour on manure waste utilization. *New Medit*, 20(4).
- Kalaycı, S., Afşar, B., & Gündüz, M. A. (2017). Tarım ürünleri ihracatında döviz kuru ve petrol fiyatlarının etkisi: türkiye örneği- effect of exchange rates and oil prices in export of agricultural products: the example of turkey. *Journal of Business Research - Turk*, 9(4), 805-819.
- Karahasan, B. C., & Pinar, M. (2023). Climate change and spatial agricultural development in Turkey. *Review of Development Economics*, 27(3), 1699-1720.
- Kiwia, A., Kimani, D., Harawa, R., Jama, B., & Sileshi, G. W. (2019). Sustainable intensification with cereal-legume intercropping in Eastern and Southern Africa. *Sustainability*, 11(10), 2891.
- Küçükarpacı, L. N., & Ülev, S. (2023). Çiftçilerin Finansman Sorunlarına Yönelik Geliştirilen Tarımsal Fintek (Agri-Fintech) Çözümleri: İslami Finans Açısından Bir Değerlendirme. *International Journal of Islamic Economics and Finance Studies*, 9(1), 33-60.
- Muratoglu, A. (2020). Assessment of wheat's water footprint and virtual water trade: a case study for Turkey. *Ecological processes*, 9, 1-16.

- Oloyede, A., Muhammad-Lawal, A., Ayinde, O., & Omotesho, K. (2016). Determinant of soil management practices in cereal based production systems among small-scale farmers in kwara state. *Agro-Science*, 14(2), 18. <https://doi.org/10.4314/as.v14i2.3>
- Saylan, M., & Avcı, S. (2022). Effects of Forage Legumes Sowing in the Fallow Year on Silage Yield and Quality Characteristics of Subsequent Cereals. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 10(12), 2389-2396.
- Şentürk, B. (2023). Tarımsal Arazilerin İkili Kullanımında Gelir-Gider Analizi: Türkiye TarımGES Örneği. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 10(4), 1147-1155.
- Takahashi, K., Muraoka, R., & Otsuka, K. (2020). Technology adoption, impact, and extension in developing countries' agriculture: A review of the recent literature. *Agricultural Economics*, 51(1), 31-45.
- Turgut, C., Ornek, H., & Cutright, T. J. (2011). Determination of pesticide residues in Turkey's table grapes: the effect of integrated pest management, organic farming, and conventional farming. *Environmental monitoring and assessment*, 173, 315-323.
- Ulus, F., & Yavuzaslanoğlu, E. (2017). Örtü altı organik domates yetiştiriciliğinde farklı gübre uygulamalarının bitki yeşil aksamı ve meyve verimine etkisi. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 5(13), 1757-1761.
- Usabaliev, B., Brantestam, A. K., Kurmanbekova, G., Chekirov, K., Totubaeva, N., & von Bothmer, R. (2020). Agronomic performance of spring barley cultivars under different eco-environmental conditions. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(6), 4331-4344.
- Yılmaz, A. M. & Tomar, O. (2022). Türkiye'de buğdayın kendi kendine yeterlilik ve ithalata bağımlılık açısından değerlendirilmesi. *European Journal of Science and Technology*.

Yu, T. H. E., Cho, S. H., Koç, A. A., Böl¼k, G., Kim, S. G., & Lambert, D. M. (2014). Evaluating spatial and temporal variation in agricultural output elasticities in Turkey. *Agricultural Economics*, 45(3), 279-290.

BÖLÜM 4

ZARARLI BÖCEK YÖNETİMİNDE İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI (İHA)'NIN KULLANIMI

Dr. Öğr. Üyesi Hilmi KARA^{1*}
Prof. Dr. Mehmet Salih ÖZGÖKÇE²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14542975>

^{1*} Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Van Türkiye. *hilmikara@yyu.edu.tr

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Van Türkiye. msozgokce@yyu.edu.tr

GİRİŞ

Tarımsal alanlarda verimliliği kısıtlayan önemli biyotik faktörlerin başında Arthropodlar (eklem bacaklılar) gelmektedir. Sadece fitofag Artropodlardan kaynaklanan ürün kaybı yıllık %18-26 oranlarına ulaşmış ve bu miktarın büyük kısmının (%13-16), ürünlerin hasat edilmesinden önce tarla ya da bahçede meydana geldiği bildirilmiştir (Culliney, 2014).

Fitofag Arthropodlar, bitkilere ve mahsullerine çeşitli şekillerde zarar vermektedir. Bitkilerin taze sürgün, tomurcuk ve yapraklarında özsu emerek, meyve, yaprak, tomurcuk, çiçek, kök ve gövdeleri gibi hemen her organlarını ısırıp çiğneyerek doğrudan zarar verdikleri gibi kalıntıları, çok önemli bitki virüs hastalıklarını taşıyarak, bazıları ayrıca fumajin oluşturarak dolaylı yollardan da zarar verirler. Bazıları meyve, sürgün, dal, tohum ve yaprak dokularında tüneller veya delikler açarak veya hasat edilip depolara getirilen ürünlerde beslenerek de büyük kayıplara yol açmaktadır (Bernays ve Chapman, 2007).

Bitkisel üretimin her aşamasında karşılaşılan tarımsal zararlıların yönetimi, gıda güvenliğini sağlamak ve ürün verimini en iyi duruma getirmek kritik öneme sahiptir. Geleneksel yöntemler genellikle iş gücü yoğunluğu, zararlı salgınlarını hedeflemedeki verimsizlikleri nedeniyle yetersiz kalmaktadır.

Son yıllarda teknolojik gelişmelerin hayatın her alanında olduğu gibi tarımda da kullanılmaya başlanması ile yaşanan dijital dönüşüm, tarımsal zararlılarla mücadelede çığır açıcı yeniliklere yol açmıştır. Bu

yenilikler arasında, ileri sensörler, yüksek çözünürlüklü kameralar ve görüntü işleme teknolojileri sayesinde bitkilerin sağlık durumu gerçek zamanlı olarak izlenebilmekte, hastalık ve zararlıların erken belirtileri tespit edilebilmekte ve hızlı müdahale olanakları sunulmaktadır (Bharteey ve ark., 2019). Bu tür verilerin elde edilmesinde kullanılmaya başlanan insansız hava araçları (İHA) teknolojisi, zararlı yönetimi stratejilerini geliştiren hassas izleme ve uygulama tekniklerini mümkün kılarak yenilikçi çözümler sunmaktadır. Yapay zekâ algoritmaları ise dronlardan elde edilen büyük veri kümelerini analiz ederek zararlı yoğunluğunu ve yayılma hızını belirleyebilmekte, böylece zamanında ve hedefli müdahale imkânı sunmaktadır (Liakos ve ark., 2018).

Otonom dronlar, belirlenen rotalarda bağımsız bir şekilde uçarak büyük alanları hızla tarayabilir ve zararlı popülasyonlarını önemli hasara yol açmadan önce kontrol etmek için gerekli olan zamanında müdahalelere olanak tanır. Gelişmiş sensörlerle donatılmış dronlar zararlılar dışında hastalık etmenleri, yabancı otlar ve bitki besin eksikliklerini de tespit edebilecek hassasiyette veri toplayabilme kapasitesine sahiptir. Bu özellik, geniş alanlarda düzenli veri toplama ve hızlı müdahale açısından büyük bir avantaj sunmaktadır (Salamí ve ark., 2014). Geniş alanlardan toplanan büyük veri yığınları bu amaçla hazırlanmış yazılımlarda hızlıca işlenerek yalnızca zamanında zararlı tespitine yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda gereksiz pestisit uygulamalarını da azaltarak daha sürdürülebilir tarımsal uygulamalara da katkıda bulunur.

Dronların belirli alanlara insektisit veya biyolojik kontrol ajanlarını (parazitoidler, predatör böcekler) hassas bir şekilde uygulayarak zararlı kontrolünü sağlaması daha az kimyasal kullanımıyla çevreye verilen zararı azaltmakta ve biyolojik çeşitliliğin korunmasına katkıda bulunmaktadır (Gundreddy ve ark., 2024).

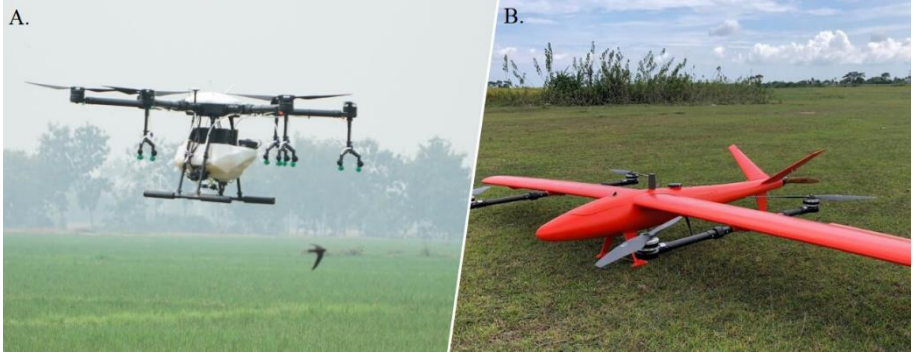
Ayrıca 5G teknolojisi, dronların tarla verilerini anında bulut sistemlerine aktararak gerçek zamanlı analiz ve izleme imkânı sunmaktadır. Böylelikle çiftçiler, tarla verilerini anlık olarak takip edebilir ve gerektiğinde hızlı müdahalede bulunabilirler (Tang ve ark., 2021). Dronlarla toplanan veriler aynı zamanda tarımsal alanların haritalanmasında kullanılarak zararlı popülasyonlarının yoğun olduğu bölgelerin belirlenmesini ve noktasal ilaçlama yapılmasına olanak sağlamaktadır (Rano ve ark., 2022).

Zararlı yönetiminde bu ileri teknolojilerin kullanılmasının ekonomik etkileri de dikkate değerdir. Pestisit uygulamalarında uygulama alet ve ekipmanlarının enerji sarfıyatı ve işçilik maliyetlerinin azalması net getiriye arttırabilir. Ayrıca uygulayıcıların pestisit uygularken maruz kaldıkları ilaçların solunması, sürüklenmesi, temas etmesi ile ortaya çıkan sağlık riskleri de ortadan kalkmış olur.

Yukarıda belirtilen teknolojik gelişmelerde önemli bir yere sahip olan dronların, tarımsal alanlarda entegre zararlı yönetiminde kullanımı, bu teknolojilere olan ilgiyi arttırmıştır. Bu bölümde, tarımsal alanlarda böcekler ile mücadelede insansız hava araçlarının kullanımına ilişkin bilgilere yer verilmektedir.

1. TARIMDA KULLANILAN İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI VE ÖZELLİKLERİ

İnsansız Hava Aracı (İHA) veya Uzaktan Kumandalı Hava Aracı (RPA) olarak da bilinen, DRONE (Dynamic Remotely Operated Navigation Equipment) GPS kontrolüyle uzaktan ve pilotsuz olarak hareket edebilen bir hava aracıdır (Verma ve ark., 2022). Bir İHA sistemi, başlıca üç ana bileşene ayrılabilir: İHA platformu (uçan birim), yük (kameralar ve sensörler) ve yer kontrol istasyonu (dizüstü bilgisayar, radyo kontrol, video alma istasyonu). Tarımda İnsansız Hava Aracı (İHA) platformlarının sabit kanatlı ve döner kanatlı olmak üzere iki ana türü vardır (Şekil 1). Sabit kanatlı İHA, uçak görünümüne benzer, itme gücü ve aerodinamik kaldırma kuvveti ile uçar. Sabit kanatlı İHA'lar genellikle döner kanatlı modellere göre daha büyüktür ve geniş alanlarda spreyleme ve fotoğrafçılık için kullanılır (Li ve Yang, 2012; Pederi ve Cheporniuk, 2015). Döner kanatlı İHA'lar ise helikopter ve çok rotorlu olmak üzere iki gruba ayrılır. Helikopter türü, hava aracının üzerinde büyük bir pervane ile karakterize edilir. (Lan ve ark., 2017). Çok rotorlu modeller, sahip oldukları rotor sayısına göre adlandırılır özellikle bu tip İHA'lar tarımda yaygın olarak fitofag böcekler ile mücadele amacıyla kullanılmaktadır.



Şekil 1. Tarımda kullanılan döner kanatlı (A) ve sabit kanatlı (B) insansız hava araçları

Türkiye Cumhuriyeti, Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanan “İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin Zirai Mücadele Kapsamında Bitki Koruma Ürünü Uygulamalarında Kullanılmasına İlişkin Yönerge”sinde zirai mücadele alet ve makinesi olarak Bakanlık tarafından İHA1 (4 -25 kg) ve İHA2 (26-150 kg) olmak üzere iki tip makine için ruhsatlandırma yapmaktadır. Bu bağlamda azami kalkış ağırlığı 150 kg’dan fazla olan tarımsal İHA’lar için kullanım izni verilmemektedir.

2. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI (İHA)’NIN ZARARLI YÖNETİMİNDEKİ ROLÜ

İnsansız hava araçları, zararlı yönetiminde tanılama ve tespitin yanı sıra, tarım alanlarında sıklıkla pestisit püskürtme işlemleri için de kullanılmaktadır (Rahman ve ark., 2021). İHA’lar, pestisit püskürtme sistemleri sayesinde yüksek hız ve hassasiyet sunarak önemli bir avantaj sağlamaktadır. Püskürtme işlemi için kullanılan İHA’nın ana parçaları; basınçlı meme, püskürtme kontrolörü, pestisit kutusu, hall-

akış sensörü, küçük diyaframlı pompa, tarla haritası yorumlama sisteminden oluşmaktadır. İnsansız hava araçları aşağıda belirtildiği üzere tarımsal üretimde zararlı yönetimine çeşitli avantajlar sunmaktadır.

2.1. İHA ile Pestisit Püskürtme Sistemi

İnsansız hava araçları (İHA), insektisit püskürtmek için etkili bir şekilde kullanılabilir. Püskürtme işlemleri, tüm alanı kapsayacak şekilde uygulanabileceği gibi, yalnızca zararın tespit edildiği belirli bölgelere de odaklanabilir. Bu sayede, kimyasallar doğrudan hedefe ulaştırılarak daha verimli bir uygulama sağlanabilir. İHA'lar, zararlılara veya bitkilere oldukça hedefli bir şekilde püskürtme yapabildiği için ihtiyaçlara göre ayarlanabilir ve bu da genel maliyetlerin azalmasına katkı sağlar. Ancak, İHA kullanımında ani çevresel değişiklikler, özellikle püskürtme işlemleri sırasında rüzgâr yönü gibi faktörler, dikkatle ele alınmalıdır (Faiçal ve ark., 2017).

İHA'ya entegre edilen püskürtme sistemi, depodaki sıvının memeden basınç altında istenilen çaplarda damlacıklar halinde püskürtülmesini sağlar. Sıvının püskürtülmesi için uygun basınç, püskürtme motoru yardımıyla üretilir. Püskürtme kontrol sistemi, sıvı akışını tahmin etmek için hall-akış sensörünü kullanır ve püskürtücünün memesini ayarlar. Püskürtme amacıyla kullanılan İHA'lar, hızları, taşıma kapasiteleri ve püskürtme için kullanılan meme sayısına göre farklılık gösterebilir. İHA tabanlı pestisit püskürtme yöntemleri, geleneksel sistemlere kıyasla daha verimlidir. Bu yöntem, tehlikeli maddelerle

insan temasını azaltırken, minimum insan gücüyle çalışabilir. Ayrıca, İHA'lar zamandan ve maliyetlerden tasarruf sağlar.

2.2. İHA ile Yüksek Çözünürlüklü Görüntüleme ile Zararlı Tespiti

İHA kullanılarak yüksek çözünürlüklü geniş hacimde mekânsal görüntüler elde edilir. Tarım alanlarındaki zararlı böceklerin gözlemlenmesi için tanımlama, sınıflandırma ve popülasyon tahmini işlemleri yapılmaktadır. İHA'nın havadan çekilen görüntüleri ve dijital görüntü işleme (DIP) teknikleri, çeşitli zararlılar için ayrı ayrı hesaplamaktadır. Bu yöntem, tarladaki zararların tahmin edilmesi için alternatif bir yöntem olarak kullanılmaktadır (Clau ve ark., 2020).

2.3. Derin Öğrenme ile Zararlı Sınıflandırması

İnsansız hava araçlarına entegre edilen kameralar ile çok fazla sayıda görüntü verisi bilgisayara yönlendirilir. Akıllı zararlı izleme (SPM) yapay zeka ile ilgili teoriler ve teknolojiye ilerlemeler ile Entegre Zararlı Yönetimi (EZY) kapsamında gelişen yeni bir alandır. Akıllı zararlı izlemenin amacı bitki ana zararlılarının otomatik ve akıllı bir şekilde toplanmasını sağlamak büyük veri, yapay zeka ve diğer modern bilgi teknolojileri ile ekipmanları entegre ederek zararlılar için izleme ve erken uyarı yeteneğini geliştirmektir. İHA üzerindeki kameralardan elde edilen görüntüler, veri işleme aşamasında bilgisayarla görme teknikleri ve makine öğrenimi (ML) algoritmaları kullanılarak zararlılar sınıflandırılır.

İHA ile elde edilen soya fasulyesi zararlılarına ait görüntülerin sınıflandırılması için derin öğrenme mimarileri değerlendirilmiştir. Gerçek tarla koşullarında çekilen 5000 görüntüden oluşan bir veri seti ile Inception-v3, ResNet50, VGG-16, VGG-19 ve Xception modellerinin performansı, farklı öğrenme stratejileriyle test edilmiştir. Deneysel sonuçlar, ince ayar ile eğitilen derin öğrenme mimarilerinin, diğer yaklaşımlara kıyasla daha yüksek sınıflandırma oranlarına ulaşabileceğini ve %93,82'ye kadar doğruluk elde edebileceğini göstermiştir. Ayrıca, derin öğrenme mimarileri, SIFT ve SURF gibi geleneksel özellik çıkarma yöntemlerinin yanı sıra, Bag-of-Visual Words yaklaşımı, yarı denetimli öğrenme yöntemi OPFSEMİnst ve denetimli öğrenme yöntemleri (örneğin, SVM, k-NN ve Random Forest) ile yapılan sınıflandırma işlemlerini geride bırakmıştır. Sonuçlar, değerlendirilen mimarilerin, soya fasulyesi tarlalarındaki zararlı kontrol yönetiminde uzmanlara ve çiftçilere destek olabileceğini göstermektedir (Tetila ve ark., 2020).

2.4. İHA ve Uzaktan Algılama Teknolojileri ile Zararlı Tespiti ve Zararlıların İzlenmesi

Geleneksel RGB (kırmızı, yeşil, mavi) kameralarla donatılmış İHA'lar, uzaktan algılama teknolojileri kullanılarak zararlıların tespiti ve yoğunluğunun belirlenmesi için değerlendirilebilir. 2D geometrik ve 3D ürünlere odaklanıldığında, İHA platformu kullanıcılarının uygulama faydasını ve doğruluğunu artırması beklenmektedir (Del-Campo-Sanchez ve ark., 2019). İHA'lar aracılığıyla uzaktan algılama teknolojisindeki son gelişmeler, tarım yönetimi ve zararlı izleme için

hızlı görüntü işleme araçları sunmaktadır. Bu teknoloji, bağıcıklarda *Grape phylloxera* gibi zararlıların tespiti için insan gözetim uygulamalarının etkinliğini artırmaktadır. Gelişmiş dijital hiperspektral, multispektral ve RGB sensörlerle entegre edilen İHA'lar, *G. phylloxera* tespiti için tahmin modelleri geliştirmiştir (Vanegas ve ark., 2018).

Uzaktan algılama verileri, tarım alanlarında fitofag böceklerin yayılışlarını verimli bir şekilde incelemek için kullanılmaktadır. ABD'nin Kansas eyaletindeki kışlık buğday (*Triticum aestivum*) tarlalarında, *Hessian fly* bulaşıklılığı ile normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI) arasındaki ilişki, uçak verileri ve multispektral uydu verileri kullanılarak değerlendirilmiştir. Her tarlada, *Hessian fly* bulaşıklılığı, uniform bir ızgara tarzında birden fazla örnekleme noktasıyla incelenmiştir. Sonuçlar, uçak ve uydu verilerinde azalan NDVI ile zararlı bulaşıklılığını arttığını göstermiştir. Uydu verileri, zararlıların bulunduğu tarlalarda uçak verilerine kıyasla daha iyi performans göstermiştir. Bu sonuçlar, uzaktan algılama teknolojisi verilerinin, buğday bitkilerinin sağlığını ve zayıf büyüme gösteren alanları izlemek için kullanılabileceğini ortaya koymuştur (Backoulou ve ark., 2018).

2.5. Multispektral Veriler ile Zararlı İzleme

Tarım alanlarındaki zararlı ve böcek yayılımı homojen dağılım göstermemektedir. Multispektral verilerle uzaktan algılama, şeker kamışı yaprak bitleriyle enfekte olan sorgum tarlalarının değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Biy-temporal görüntülerde normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI) farkları ve görüntüdeki değişimlerin analizi, şeker kamışı yaprak bitleri tarafından sorgum tarlasında meydana gelen zamansal değişimlerin yayılımını değerlendirilmesinde verimli bir yöntem olmuştur. Sorgum tarlasında şeker kamışı yaprak bitleriyle enfekte olan alanların NDVI görüntü sınıflandırmasıyla ilgili saha değişikliklerini ve dağılım kategorilerini karşılaştıran deneyler, şeker kamışı yaprak bitleri tarafından sorgum tarlalarında meydana gelen zamansal değişimlerin bulaşıklılığını değerlendirmek için temel bir teknik olmuştur (Backoulou ve ark., 2011).

2.6. Spektral Sensörler ile Zararlı Tespiti ve Zararlıları İzleme

Spektral sensörler, özellikle kızılötesi aralıkta ve 50 nm sensör bant genişliği ile soya fasulyesi tarlalarında *Aphis glycines* yoğunluğunu etkili bir şekilde tanımlayabilir. *Aphis glycines*, multispektral sensörlerle simüle edilen yer tabanlı hiperspektral veriler kullanılarak tespit edilir. Bu yaklaşım, soya fasulyesi ve tarım üretim sistemlerinde zararlıların manuel sayımları ile kıyaslandığında, karmaşıklığı ve maliyeti azaltmaktadır (Alves ve ark., 2019).

SONUÇ

İnsansız hava araçlarının yaygın olarak dron ismiyle bilinen tarım uygulamalarına entegrasyonu, zararlı yönetiminde önemli bir ilerlemeyi temsil ediyor. Tarımsal üretimi ve verimliliği sınırlandıran tarımsal zararlılar hasat öncesi ve sonrasında mahsüllerde verim kayıplarına neden olan en önemli biyotik faktörlerdendir. Geleneksel zararlı kontrol yöntemleri genellikle emek yoğunluğu ve zararlı salgınlarını hedeflemede ve hızlıca kontrol altına almada yetersiz kalmaktadır. İleri teknolojik gelişmelerin tarımsal üretimde kullanılmaya başlanması ile gerçek zamanlı izleme ve hassas müdahale stratejilerinin uygulanmasına olanak sağlayarak zararlı yönetiminin etkinliğini arttırmıştır. Böylece üreticilerin sürdürülebilir tarım hedeflerinden sapmadan ürünlerini anlık olarak izleyebilmeleri ve zararlılara karşı erken müdahalede bulunabilmeleri mümkün kılınabilmektedir. Gelişmiş sensörler ve yüksek çözünürlüklü kameralarla donatılmış dronlar zararlı salgınlarının erken tespitini kolaylaştırarak ürün zararını azaltabilecek zamanında müdahalelere olanak tanır. Havadan görüntüleme yoluyla büyük veri kümelerini toplama ve bunları yapay zeka algoritmaları kullanarak işleme yeteneği, zararlı popülasyonlarını değerlendirmenin doğruluğunu önemli düzeyde artırır. Bu teknolojik değişim, zararlı yönetimi ve kontrol çabalarını düzenlemenin yanı sıra pestisitlere olan bağımlılığı da önemli ölçüde azaltarak sürdürülebilir tarım uygulamalarına destek sağlar.

Bunlara ek olarak, teknoloji ve dron kullanımının tarım sektöründe zararlı yönetimine olan etkisi hem ekonomik hem de çevresel açıdan da oldukça önemlidir. Dronlar sayesinde ilaç uygulamaları daha belirgin hedeflere uygulanabildiği gibi ilaç israfı ve maliyetler de düşürülür. Ayrıca geniş alanların hızlıca taranması ile zaman kaybının önüne geçilmesi, pestisit uygulamalarında geleneksel olarak kullanılan tarımsal araçların kullanılmayarak araç ve yakıt harcamalarının önüne geçilmesi, işçilik maliyetlerini azaltması gibi ek maliyetlerin azalmasıyla önemli ekonomik girdiler sağlanır. Bu teknolojiler sayesinde pestisitlerin çevreye yayılması ve hedef dışı organizmalara zarar vermesi gibi sorunlar da büyük ölçüde azaltılabilir. Hedefli ilaçlama, su kaynaklarının kirlenmesini önleyerek su ekosistemlerini ve insan sağlığını korur. Ayrıca, biyolojik çeşitliliğin korunması ve toprak sağlığının iyileştirilmesi gibi sürdürülebilir tarımsal hedeflere ulaşılmasına katkı sağlar. Gelecekte yapay zekâ ve makine öğrenimi gibi teknolojilerin daha da gelişmesiyle birlikte, tarım sektöründe daha akıllı ve otonom sistemlerin kullanılması, zararlı yönetimini daha da verimli ve çevre dostu hale getirilebilir.

Bu avantajlara rağmen, tarımsal alanlarda dron ve ilgili teknolojilerin yaygın olarak benimsenmesinde zorluklar devam etmektedir. Belirli kapasitelerdeki dron kullanımının önündeki yasal engellemeler ile ilgili düzenlemelerin yapılması, üreticilerin teknoloji kullanımında eğitilmesi, yeterli şekilde bilgilendirilmesi gibi faktörler zararlı yönetiminde İHA'ların potansiyelini tam olarak gerçekleştirmek için ele alınmalıdır.

KAYNAKÇA

- Alves, T. M., Moon, R. D., MacRae, I. V., & Koch, R. L. (2019). Optimizing band selection for spectral detection of *Aphis glycines* Matsumura in soybean. *Pest management science*, 75(4), 942-949.
- Backoulou, G. F., Elliott, N. C., Giles, K. L., Alves, T. M., Brewer, M. J., & Starek, M. (2018). Using multispectral imagery to map spatially variable sugarcane aphid infestations in sorghum. *Southwestern Entomologist*, 43(1), 37-44.
- Backoulou, G. F., Elliott, N. C., Giles, K., Phoofolo, M., Catana, V., Mirik, M., & Michels, J. (2011). Spatially discriminating Russian wheat aphid induced plant stress from other wheat stressing factors. *Computers and electronics in agriculture*, 78(2), 123-129.
- Bernays, E. A., & Chapman, R. F. (2007). Host-plant selection by phytophagous insects (Vol. 2). Springer Science & Business Media.
- Bharteey, P. K., Deka, B., Dutta, M., Parit, R. K., & Maurya, P. K. (2019). Remote sensing application in precision agriculture: A review. *Remote Sens*, 6 (11).
- Culliney, T. W. (2014). Crop losses to arthropods. *Integrated Pest Management: Pesticide Problems*, Vol. 3, 201-225.
- del-Campo-Sanchez, A., Ballesteros, R., Hernandez-Lopez, D., Ortega, J. F., Moreno, M. A., & Agroforestry and Cartography Precision Research Group. (2019). Quantifying the effect of *Jacobiasca lybica* pest on vineyards with UAVs by combining geometric and computer vision techniques. *PLoS One*, 14(4), e0215521.
- Faiçal, B. S., Freitas, H., Gomes, P. H., Mano, L. Y., Pessin, G., de Carvalho, A. C., ... & Ueyama, J. (2017). An adaptive approach for UAV-based pesticide spraying in dynamic environments. *Computers and Electronics in Agriculture*, 138, 210-223.
- Gundreddy, R. R., Alekhya, G., Jayanth, B. V., Darjee, S., Shashikala, M., Reddy, B. T., & Gaddam, N. R. (2024). Actuation Drones in Agriculture: Advancing Precision Pest Management through Biocontrol and Modern Techniques. *Journal of Experimental Agriculture International*, 46 (9), 825-835.

- Lan, Y., Shengde, C., & Fritz, B. K. (2017). Current status and future trends of precision agricultural aviation technologies. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 10(3), 1-17.
- Li, X., & Yang, L. (2012). Design and implementation of UAV intelligent aerial photography system. In 2012 4th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (Vol. 2, pp. 200-203). IEEE.
- Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine learning in agriculture: A review. *Sensors*, 18(8), 2674.
- Pederi, Y. A., & Cheporniuk, H. S. (2015). Unmanned aerial vehicles and new technological methods of monitoring and crop protection in precision agriculture. In 2015 IEEE International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD) (pp. 298-301). IEEE.
- Rahman, M. F. F., Fan, S., Zhang, Y., & Chen, L. (2021). A comparative study on application of unmanned aerial vehicle systems in agriculture. *Agriculture*, 11(1), 22.
- Rano, S. H., Afroz, M., & Rahman, M. M. (2022). Application of GIS on monitoring agricultural insect pests: a review. *Reviews In Food And Agriculture*, 3(1), 19-23.
- Salamí, E., Barrado, C., & Pastor, E. (2014). UAV flight experiments applied to the remote sensing of vegetated areas. *Remote Sensing*, 6(11), 11051-11081.
- Tang, Y., Dananjayan, S., Hou, C., Guo, Q., Luo, S., & He, Y. (2021). A survey on the 5G network and its impact on agriculture: Challenges and opportunities. *Computers and Electronics in Agriculture*, 180, 105895.
- Tetila, E. C., Machado, B. B., Astolfi, G., de Souza Belete, N. A., Amorim, W. P., Roel, A. R., & Pistori, H. (2020). Detection and classification of soybean pests using deep learning with UAV images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 179, 105836.
- Vanegas, F., Bratanov, D., Powell, K., Weiss, J., & Gonzalez, F. (2018). A novel methodology for improving plant pest surveillance in vineyards and crops using UAV-based hyperspectral and spatial data. *Sensors*, 18(1), 260.

Verma, A., Singh, M., Parmar, R. P., & Bhullar, K. S. (2022). Feasibility study on hexacopter UAV based sprayer for application of environment-friendly biopesticide in guava orchard. *Journal of Environmental Biology*, 43(1), 97-104.

BÖLÜM 5

SU KİTLİĞİNDA HASSAS SULAMANIN SU KULLANIM VERİMLİLİĞİ ÜZERİNDEKİ ÖNEMİ

Doç. Dr. Talip ÇAKMAKCI^{1*}

Doç. Dr. Caner YERLİ²

Prof. Dr. Üstün ŞAHİN³

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14542981>

^{1*} Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendiliği Bölümü, Van, Türkiye. *talipcakmakci@yyu.edu.tr

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendiliği Bölümü, Van, Türkiye. caneryerli@yyu.edu.tr

³ Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Erzurum, Türkiye.

GİRİŞ

Dünya nüfusunun artması gıda ve su gibi temel kaynakların temini ve sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması gibi bir zorluk yaratmaktadır. Su, toplumunun hayatta kalmasında önemli bir rol oynamakta ve toplumun refahının dayandığı çok çeşitli hizmetlerin sağlanmasına katkıda bulunmaktadır (Flávio ve ark., 2017; Manju ve ark., 2017). Ancak su kaynakları, küresel iklim değişikliğinin sonuçları, arazi kullanımındaki değişiklikler, tarımsal ve kentsel genişleme ve ekonomik kalkınma nedeniyle aşırı kullanım gibi birçok faktör nedeniyle ciddi bozulmaya maruz kalmaktadır (Cakmakci ve ark., 2017; Liu ve ark., 2017; Zhang ve ark., 2017).

İklim değişikliğine bağlı küresel ısınma dünya genelinde su sıkıntısına yol açan başlıca etken olmuştur. 21. yüzyılda suyun önemli bir sorun olacağına dair endişeler ortaya çıkmaktadır. Bu durum, ülkelerin su kıtlığının ciddi anlaşmazlıklara yol açabilecek bir mesele olduğunun farkında olduğunu göstermektedir. Yüzyılın ortalarına yaklaşırken pek çok ülke ciddi su kıtlığıyla karşı karşıya kalabilir. Bunun nedeni, küresel sıcaklıkların 2050 yılına kadar 1,5 °C, artacağı tahminleridir (Velasco-Muñoz ve ark., 2019). Sıcaklık artışıyla birlikte su konusunda anlaşmazlıkların ortaya çıkma olasılığı su miktarlarının hızla azaldığı anlamına gelmektedir.

1. SU KITLIĞI

Su kıtlığı dünya çapında birçok ülkeyi de etkisine alan bir sorundur. Dünyada insan nüfusunun yaklaşık %80'i su güvensizliği ile karşı

karşıyadır (Scanlon ve ark., 2023). Artan su kıtlığı büyük ölçüde, küresel su talebi ve tüketiminin birincil kaynağı olan sulu tarımdan kaynaklanmaktadır (Smidt ve ark., 2019). Dünya Sağlık Raporu 2007'ye göre, şu anda 1.1 milyar insan güvenli suya ve 2.6 milyar insan da uygun arıtma yöntemine erişimden yoksundur. Hem içme suyu hem de hijyen için arıtım sağlama ihtiyacı, bugün gelişmekte olan ülkelerde büyük bir zorluk olmaya devam etmektedir. Nüfus artışı devam ettikçe, su kaynakları üzerinde daha fazla baskı ve daha fazla talep olacağı ve bunun da su kaynaklarının kullanılabilirliğinin kaçınılmaz olarak azalmasıyla sonuçlanacağı aşikar ve kaçınılmazdır. Dünyanın pek çok bölgesindeki en önemli sorunlardan birinin, doğal sistemlerden su çekilmesinin bu sistemlerin yeniden şarj olma kabiliyetini aşarak yeraltı su seviyelerinin giderek düşmesine yol açması olduğunu anlamak büyük önem taşımaktadır.

Dünyada en belirgin su sorunları kurak ve yarı kurak iklim özelliklilerine sahip Kuzey Afrika ve Orta Doğu'daki ülkelerinde ortaya çıkmakta ve etkilemektedir. Özellikle Afrika ülkeleri için Falkenmark göstergesi halihazırda 1.000 m³/kişi/yıl eşiğinin altındadır ve Rijsberman'a (2006) göre bu bölgenin en kalabalık ülkesi olan Mısır için Falkenmark göstergesinin önümüzdeki 25 yıl içinde 500 m³/kişi/yıl eşiğinin altına düşmesi muhtemeldir (Wallace, 2000). Çin ve Hindistan gibi önemli pazarlar su kıtlığı nedeniyle ekonomik kısıtlamalarla karşı karşıyadır. Çin, dünya nüfusunun toplamının %22'sine sahip olmasına rağmen dünyadaki temiz su kaynaklarının sadece %7'sine sahiptir. Çin'in karşı karşıya olduğu pek çok zorluk arasında, suyun kalitesi ve

miktarıyla ilgili sorunlar öncelikler listesinin başında yer almaktadır (Smakhtin ve ark., 2004). Hindistan coğrafi alan bakımından yedinci büyük ülke olmasına rağmen dünyanın en kalabalık ikinci ülkesi konumundadır. Bir milyarı aşan nüfusuyla temiz suya olan talep katlanarak artmaktadır. Çok geç olmadan hem yüzey hem de yeraltı su kaynaklarını korumak için acilen yeni önlemler alınmalıdır.

Tarımsal ekosistemler başlıca gıda üretim kaynağı olmakla birlikte, aynı zamanda küresel düzeyde su kaynaklarının başlıca kullanıcılarıdır (Fu ve ark., 2013). Ekosistemler, bölgenin iklimine ve ekonomik gelişimine bağlı olarak mevcut suyun ortalama %75'ini kullanmaktadır (Adeyemi ve ark., 2017). Sulanan ürünlere ayrılan küresel alanın 275 milyon hektar olduğu ve yılda %1,3'lük bir artış eğilimi gösterdiği ve 2050'deki gıda ihtiyacını karşılamak için dünya üretiminin %70 oranında artması gerektiği tahmin edilmektedir (Gago ve ark., 2015; Wu ve ark., 2015).

2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE TARIMSAL VERİM

İklimdeki herhangi bir küçük değişiklik tarımsal üretimi olumsuz etkileyebileceğinden, tarım özellikle iklim değişikliğine karşı hassastır. Aslında, çalışmalar iklim değişikliği ile mahsul verimi arasında negatif çift yönlü bir ilişki olduğunu kanıtlamıştır (Agovino ve ark., 2019; Malhi ve ark., 2021). İklim değişikliği sadece tarımsal verimi etkilemekle kalmaz, aynı zamanda ürün verimini etkiler ve azalan ürün verimi olumsuz ekonomik etkilere yol açar. Büyüme dönemlerinde yüksek sıcaklık ve düşük yağış şeklindeki iklim değişikliği eğilimleri

verimi düşürmektedir. Bununla birlikte, ürünün verimini etkileyen başka faktörler nem, rüzgar hızı ve buharlaşma olarak sayılabilir (Lawrence, 2005). Özellikle nem ve rüzgar hızı, ürün veriminin ortaya çıkmasında kritik bir rol oynamaktadır (Liu ve ark., 2023). Bu parametreler sadece verimini etkilemekle kalmaz, aynı zamanda sıcaklık ve yağışla da oldukça ilişkilidir.

Küresel iklim değişikliğine bağlı olarak yağış rejimlerinde değişiklikler, yağışlardaki ani şiddetlenmeler, kuraklığın daha uzun sürmesi, sulama suyuna olan arzda dengesizlikler olacağı tahmin edilmektedir (Wolfe ve ark., 2018). Bu olaylar sonrasında toprak nemindeki, evapotranspirasyondaki ve yüzey akışlarındaki değişimler tarımsal üretimi etkileyecektir. (Mitrică ve ark., 2017). Birleşmiş Milletler küresel su kaynaklarının geliştirilmesine ilişkin raporunda, 2030 yılına kadar küresel düzeyde %40 oranında içme suyu sıkıntısı yaşanacağını öngörmektedir (Connor, 2015). Tarımdaki kötü uygulamalar çevresel, ekonomik ve sosyal düzeylerde sonuçlar doğurabilecek etkiler yaratmaktadır. Su kullanımının yanı sıra, mevcut sulu tarım gübre ve diğer kimyasal ürünlerin eklenmesini gerektirmektedir (Wichelns ve Oster, 2005; Wang ve ark., 2021; Çakmakci ve ark., 2022). Son yıllarda, tarımın yoğunlaşması, tuzlanma süreçlerinin hızlanmasına ve tarımsal gübrelere ortaya çıkan nitratların neden olduğu kirliliğe yol açmıştır (Aznar-Sánchez ve ark., 2019). Gelecekteki sulama taleplerini karşılamak için temiz su miktarında büyük bir artış beklenmektedir. Sulama yönetiminin

iyileştirilmesi, birçok tarımsal sistemde su kullanımının verimliliğini artırmak için umut vericidir (Lakhiar ve ark., 2024).

3. HASSAS SULAMA VE SU KULLANIM VERİMLİLİĞİ

Su kullanım verimliliği, ürün tarafından kullanılan su birim başına üretilen biyokütle olarak tanımlanır (Hatfield ve Dold, 2019). Su kullanım verimliliği, zamana ve konuma göre değişen yağış, ışık, sıcaklık, nem ve rüzgâr hızı gibi faktörlerden etkilenmektedir.

Tarımda su kullanım verimliliği genellikle belirli bir üretim hedefini karşılamak veya belirli bir su kaynağının üretimini artırmak için su kullanımında bir azalma anlamına gelir (Ma ve ark., 2016). Su kullanım verimliliğini artırmanın amacı, gıda üretimini artırmak, ekonomik kazançları yükseltmek ve kullanılan su birimi başına daha düşük sosyal ve çevresel maliyetlerle ekosistem hizmetlerinin sağlanmasını garanti etmektir (Boutraa, 2010; Xue ve ark., 2017). Bu hedefe ulaşmak için kullanılan uygulamalar arasında yağmur suyu hasadı, tamamlayıcı sulama, eksik sulama ve yeraltı suyunu korumak için hassas sulama tekniklerinin ve uygulamalarının kullanılması yer almaktadır (Attwater ve Derry, 2017). Hassas tarım teknolojileri, daha fazla su kullanım verimliliği sağlamada kilit öneme sahiptir (Evans ve Sadler, 2008). Su kullanım etkinliğinin artırılması, özellikle kablosuz iletişim teknolojileri, izleme sistemleri ve optimum sulama planlaması için uyarlanmış gelişmiş kontrol stratejilerinin entegrasyonu ile akıllı sulama sistemlerinden yararlanılarak sağlanabilir (Bwambale ve ark., 2022). Tüm bu yenilikler, sulamada su kullanım verimliliğini

artırmaktadır. 2000 yılında, Birleşmiş Milletler Genel Sekreteri Kofi Annan, birim su başına verimliliği artırabileceği öne sürülen bir “Tarımda Mavi Devrim” önermiştir. Bu strateji “damla başına daha fazla ürün” sloganıyla tanınmıştır (Morison ve ark., 2007). Sulamada optimum su verimliliğinin elde edilmesi, ürün verimini artırırken, buharlaşma, yüzey akış ve suyun derinlere sızmasından kaynaklanan kayıplarında azaltılmasını içerir (Yang, 2012). Zhang ve ark. (2019), sulama suyundan tasarruf etmek için teknoloji kullanımının sadece su tasarrufu sağlayıp üretimi artırmakla kalmayıp aynı zamanda tarımsal ürünlerin besin değerini iyileştirdiğini ve çevresel koşulları iyileştirerek gıda güvenliğini garanti altına aldığını belirtmiştir.

Bitki veya toprak su durumunu değerlendirmek için çok önemli bir ölçüt olan toprak su içeriği, optimum sulama planlaması hakkında bilgi vermektedir (Soulis ve Elmaloglou, 2018; Dinar ve ark., 2019). Toprak, bitki ve hava durumu sensörlerinin entegrasyonu ile karakterize edilen hassas sulama sistemleri, sulu tarımda sürdürülebilirliğin artırılmasında önemli bir rol oynamaktadır (Adeyemi ve ark., 2017). Bu sistemler, uyarlanabilir karar destek sistemlerine gerçek zamanlı veri sağlayarak sulama programlarının çevresel koşullara göre özelleştirilmesine olanak tanır (Violino ve ark., 2023). Veri toplama ve modelleme kullanan sensörler, hassas diferansiyel girdilerin tanımlanmasını sağlayarak mahsullerin gerekli miktarda su almasını sağlar ve aşırı sulama ve yetersiz sulama ile ilgili sorunları azaltır (Kamienski ve ark., 2019). Hassas sulama sistemlerinin benimsenmesi, yetiştirme ortamındaki nem seviyelerinin etkili bir şekilde yönetilmesi yoluyla

bitki kalitesini önemli ölçüde yükseltme potansiyeline sahiptir. Üreticiler, genel su kullanım verimliliğini optimize ederek yalnızca ekonomik faydalar elde etmekle kalmaz, aynı zamanda sulu tarımda sürdürülebilirlik hedeflerine de katkıda bulunabilirler (Levidow ve ark., 2014). Bilgisayar teknolojisinin gelişmesi sistem kontrolünü büyük ölçüde geliştirmiştir. Sulama sistemlerinin kontrolünde belki de en kayda değer ilerleme değişken oranlı uygulama sistemleri ve sistemin uzaktan sulama yapacak şekilde programlanabilmesidir. Tek bir alan içinde toprak tipi ve eğimi önemli ölçüde değişebilir. Bu da farklı maksimum infiltrasyon oranlarına sahip alanlar yaratabilir. Bu oranın aşılması, mahsulü yetersiz sulamaya devam ederken yüzey akışına neden olabilir. Uygulama oranının düşürülmesi ve yalnızca toprağın kök bölgesinde tutabileceği hacmin uygulanması bu sorunu ortadan kaldırabilir, ancak teorik olarak daha iyi infiltrasyon oranlarına ve su tutma kapasitelerine sahip diğer alanların verimliliğini azaltabilir. Sistemin her alana özel uygulamalar yapacak şekilde programlanmasıyla su israfı azaltılırken bitki sağlığı için en uygun koşullar da korunmuş olacaktır.

Bilgisayarların tarıma girmesi, yetiştiricilerin tarla koşullarını izleme ve anlama becerilerine de büyük fayda sağlamıştır. Güncel meteorolojik tahminlerle izleme sistemleri, su kullanım verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için gereken verileri sağlamaktadır. Toprak nemi izleme ve hava durumu tahminlerinden yararlanmanın, geleneksel bir sulama planına kıyasla su kullanım verimliliğini %30'a kadar artırdığı kanıtlanmıştır (Liao ve ark., 2021). Her geçen yıl mevcut suyu

değerlendirmek için daha fazla yöntem uygulanabilir hale gelmektedir; değerlendirilebilecek parametreler arasında evapotranspirasyon, drenaj, turgor basıncı, sap akışı vb. yer almaktadır. Mevcut sensörleri kullanarak bu özelliklerin farklı kombinasyonlarını ölçmek ve sulama tekniklerini değerlendirilen parametrelere dayandırmak, su kullanım verimliliğinde artış, sulama hacminde azalma ve bitki stresinde azalma sağlayarak verimi artırmaktadır (Bwambale, 2022; Cakmakci ve ark., 2022).

Modern teknolojiler ayrıca su optimizasyonuna, kirliliğin azaltılmasına, maliyetin düşürülmesine ve el emeğinin azaltılmasına katkıda bulunarak yetiştiricilerin akıllı telefonlar veya diğer bilgi işlem cihazları üzerinden rahat izleme yoluyla bilinçli kararlar almasını sağlar (Ding ve Ghosh, 2017). Hassas tarımın bir alt kümesi olan hassas sulama, tarımsal alanlardaki değişkenlikleri ele almak için teknoloji odaklı bir çözüm olarak ortaya çıkmaktadır. Toprak neminin izlenmesinde hacimsel toprak nemi sensörleri, tansiyometreler, alçı blok sensörleri ve granül matris sensörlerinin kullanımı da dahil olmak üzere çeşitli hassas sulama teknikleri kullanılmaktadır (Kumar, 2021; Ling, 2004). Bu yöntemler, toprak su içeriğinin değerlendirilmesini ve yönetilmesini sağlayarak optimum bitki büyümesini ve verimli sulama yönetimini teşvik eder.

Sulama yönetiminin sürdürülebilirliğini iyileştirmek için gerçek zamanlı algılama teknolojisi, bitkilerin, toprağın ve alt tabakanın su durumunu tespit etmek için sensörlerin kullanılması ve bu bilgilerin bitkilerin taleplerine göre sulama programını ayarlamak için

kullanılması da dahil olmak üzere çeşitli şekillerde kullanılmıştır. Sensör tabanlı otomatik sulama sisteminin, yetiştiricilerin geçmiş sulama uygulamalarına (zamanlayıcı tabanlı sulama) eşit kalite ve değerde bitkiler ürettiği ve pazarlanabilir bir fark olmadığı gösterilmiştir (Wheeler ve ark., 2018).

Son yirmi yılda gelişmeler arasında, su kullanım verimliliğinin ve tasarrufunun sağlanmasında damla sulama yöntemi temel olmuştur. Damla sulama salma sulamaya kıyasla ortalama %75 oranında su tasarrufu sağlamaktadır (Narayanamoorthy, 1997). Su tasarruflu sulama planlaması, sulama uygulamalarını bitki talebiyle uyumlu hale getirmeyi, benzer su ihtiyaçları olan bitkileri gruplandırmayı amaçlar ve bitkinin günlük su kullanımına dayalı bu tür programların uygulanması, uygulanan toplam sulama miktarını önemli ölçüde azaltır (Fernandez ve ark., 2009).

Küresel su kıtlığını ele almak için su israfını ve kirliliğini azaltmak için verimli sulamanın önemi artmıştır (Majsztrik ve ark., 2010). Yüzey altı damla sulama, damla borularının toprak yüzeyinin altına gömüldüğü ve suyun doğrudan kök bölgesine verildiği bir sistemdir (Ayars ve ark., 1999). Bu yöntem daha az su kullanımı, sulama ve gübrelemenin birlikte yönetimi, zararlı sorunlarının azaltılması, basitlik, düşük pompalama ihtiyacı, otomasyon, adaptasyon ve üretim avantajları sağlar (Simonne ve ark., 2008). Yüzey altı sulama, yüzeyden buharlaşmayı ortadan kaldırarak ve yabancı ot ve hastalık oluşumlarını en aza indirerek suyu korur ve verimi artırır (Reich ve ark., 2014). Damla sulama sistemlerinde otomatik programlamanın uygulanması,

%16 ila %35 arasında değişen oranlarda önemli su tasarrufu sağlarken aynı zamanda ürün verimini %20'ye kadar artırmıştır (Baset ve ark., 2017). Özellikle, hassas toprak nemi algılamasından yararlanan otomatik sulamanın, sulama uygulamasını düzenlemek için etkili bir yöntem olduğu kanıtlanmıştır (Lea-Cox ve ark., 2013; Majsztrik ve ark., 2013). Birçok otomatik sulama sisteminin, hacimsel su içeriği ölçümleri tarafından yönlendirilmek yerine, gün boyunca belirli zamanlarda ve sürelerde çalışmak üzere programlanmış kontrolörler tarafından geleneksel olarak kontrol edildiğini belirtmek gerekir (Nemali ve van Iersel, 2006).

SONUÇ

Su kullanım verimliliğinin artırılmasında, çevresel etkiler ve iklim değişikliği, su mevcudiyeti, verimliliğin artırılması, sürdürülebilir kalkınma, gıda tedariki ve su kaynaklarının, özellikle de bozulan akiferlerin korunması ortak temalardır. Bununla birlikte, eksik sulama veya damla sulama gibi belirli uygulamalar ve enerji tüketimi ve belirli ürünlerle ilgili hususlar, belirli ülkeler için öncelikli konulardır. Ülkemizde de iklim değişikliği, çevresel etki ve doğal kaynakların korunması, alternatif su kaynakları, sulama teknolojisi ve inovasyon, ve su kullanım verimliliği konuları en ön planda yer almaktadır.

Yapılan birçok çalışmada yüzey üstü damla sulama, yüzey altı damla sulama gibi modern sulama yöntemlerinin kullanılmasıyla su kullanım verimliliğinde artışlar sağlanmıştır. Modern sulama yöntemleri ile yüksek su verimliliğinin olması su tasarrufunun da sağlandığının bir

göstergedir. Bu yüzden üreticilerin/çiftçilerin damla sulama gibi hassas sulama yöntemlerine geçişlerinin sağlanması desteklenmelidir. Gelecek nesiller için sürdürülebilirliğin sağlanmasının her bir boyutunda tarımda sürdürülebilir sulamaya ilişkin araştırmaların belirli yönlerinin teşvik edilmesi gerekmektedir. Teknik açıdan bakıldığında, inovasyon ve teknoloji, su kullanımının verimliliğini ve kırsal alanların, özellikle de kurak bölgelerdeki tarımsal faaliyetlerin sürdürülebilirliğini artırmaya katkıda bulunabilecek sulama sistemlerinin ve yeni mevcut su kaynaklarının geliştirilmesini ilerletmiştir. Ancak, maliyeti birçok ülkede küçük ölçekli tarım için ekonomik olarak mümkün olmadığından, bu teknolojinin erişilebilir hale getirilmesi için çaba gösterilmelidir.

KAYNAKÇA

- Abd El-Baset, M.M., Eid, A.R., Wahba, S., El-Bagouri, K., & El-Gindy, A.G. (2017). Scheduling Irrigation using automatic tensiometers for pea crop. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 174-183.
- Adeyemi, O., Grove, I., Peets, S., & Norton, T. (2017). Advanced monitoring and management systems for improving sustainability in precision irrigation. *Sustainability*, 9, 353.
- Agovino, M., Casaccia, M., Ciommi, M., Ferrara, M., & Marchesano, K. (2019). Agriculture, climate change and sustainability: The case of EU-28. *Ecological Indicators*, 105, 525-543.
- Arshad, I. (2020). Importance of drip irrigation system installation and management- a review. *Psm Biological Research*, 5(1), 22-29.
- Ayars, J.E., Phene, C.J., Hutmacher, R.B., Davis, K.R., Schoneman, R.A., Vail, S.S., & Mead, R.M. (1999). Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory. *Agricultural water management*, 42(1), 1-27.
- Attwater, R., & Derry, C. (2017). Achieving resilience through water recycling in peri-urban agriculture. *Water*, 9(3), 223.
- Aznar-Sánchez, J.A., Belmonte-Ureña, L.J., Velasco-Muñoz, J.F., & Valera, D.L. (2019). Aquifer sustainability and the use of desalinated seawater for greenhouse irrigation in the Campo de Níjar, Southeast Spain. *International journal of environmental research and public health*, 16(5), 898.
- Boutraa, T. (2010). Improvement of water use efficiency in irrigated agriculture: a review. *Journal of Agronomy*, 9(1), 1-8.
- Bwambale, E., Abagale, F.K., & Anornu, G.K. (2022). Smart irrigation monitoring and control strategies for improving water use efficiency in precision agriculture: A review. *Agricultural Water Management*, 260, 107324.
- Cakmakci, O., Cakmakci, T., Durak, E. D., Demir, S., & Sensoy, S. (2017). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi in melon (*Cucumis melo* L.) seedling under deficit irrigation. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(12), 7513-7520.

- Çakmakci, T., Çakmakci, O., & Sahin, U. (2022). The effect of biochar amendment on physiological and biochemical properties and nutrient content of lettuce in saline water irrigation conditions. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 10(12), 2560-2570.
- Connor, R. (2015). *The United Nations world water development report 2015: water for a sustainable world* (Vol. 1). UNESCO publishing.
- Çakmakci, Ö., Çakmakci, T., & Şensoy, S. (2022). Effects of silver nanoparticles on growth parameters of radish (*Raphanus sativus* L. var. *radicula*). grown under deficit irrigation. *Current Trends in Natural Sciences*, 11(21), 37-44.
- Dinar, A., Tieu, A., & Huynh, H. (2019). Water scarcity impacts on global food production. *Global Food Security*, 23, 212-226.
- Ding, G.K., & Ghosh, S. (2017). Sustainable water management-A strategy for maintaining future water resources. *Encyclopedia of sustainable technologies*.
- Enciso-Medina, J., Multer, W.L., & Lamm, F.R. (2011). Management, maintenance, and water quality effects on the long-term performance of subsurface drip irrigation systems. *Applied Engineering in Agriculture*, 27(6), 969-978.
- Evans, R.G., & Sadler, E.J. (2008). Methods and technologies to improve efficiency of water use. *Water resources research*, 44(7).
- Fang, S., Jia, R., Tu, W., & Sun, Z. (2017). Assessing factors driving the change of irrigation water-use efficiency in China based on geographical features. *Water*, 9(10), 759.
- Fernandez, R.T., Cregg, B.M., & Andresen, J.A. (2009). Container-grown ornamental plant growth and water runoff nutrient content and volume under four irrigation treatments. *HortScience*, 44(6), 1573-1580.
- Flávio, H.M., Ferreira, P., Formigo, N., & Svendsen, J.C. (2017). Reconciling agriculture and stream restoration in Europe: A review relating to the EU Water Framework Directive. *Science of the Total Environment*, 596, 378-395.
- Fu, H.Z., Wang, M.H., & Ho, Y.S. (2013). Mapping of drinking water research: A bibliometric analysis of research output during 1992–2011. *Science of the Total Environment*, 443, 757-765.

- Gago, J., Douthe, C., Coopman, R. E., Gallego, P. P., Ribas-Carbo, M., Flexas, J., & Medrano, H. (2015). UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture. *Agricultural Water Management*, *153*, 9-19.
- Hatfield, J.L., & Dold, C. (2019). Water-use efficiency: advances and challenges in a changing climate. *Frontiers in Plant Science*, *10*, 103.
- Kamienski, C., Soininen, J.P., Taumberger, M., Dantas, R., Toscano, A., Salmon Cinotti, T., & Torre Neto, A. (2019). Smart water management platform: IoT-based precision irrigation for agriculture. *Sensors*, *19*(2), 276.
- Kumar, V. (2021). A review study on novel & emerging proximal soil moisture sensors. *ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal*, *11*(12), 845-851.
- Lakhiar, I.A., Yan, H., Zhang, C., Wang, G., He, B., Hao, B., & Rakibuzzaman, M. (2024). A review of precision irrigation water-saving technology under changing climate for enhancing water use efficiency, crop yield, and environmental footprints. *Agriculture*, *14*(7), 1141.
- Lawrence, M.G. (2005). The relationship between relative humidity and the dewpoint temperature in moist air: A simple conversion and applications. *Bulletin of the American Meteorological Society*, *86*(2), 225-234.
- Lea-Cox, J.D., Bauerle, W.L., van Iersel, M.W., Kantor, G.F., Bauerle, T.L., Lichtenberg, E., & Crawford, L. (2013). Advancing wireless sensor networks for irrigation management of ornamental crops: An overview. *HortTechnology*, *23*(6), 717-724.
- Levidow, L., Zaccaria, D., Maia, R., Vivas, E., Todorovic, M., & Scardigno, A. (2014). Improving water-efficient irrigation: Prospects and difficulties of innovative practices. *Agricultural Water Management*, *146*, 84-94.
- Liao, R., Zhang, S., Zhang, X., Wang, M., Wu, H., & Zhangzhong, L. (2021). Development of smart irrigation systems based on real-time soil moisture data in a greenhouse: Proof of concept. *Agricultural Water Management*, *245*, 106632.
- Ling, P. (2004). A review of soil moisture sensors. *Assn. Flor. Prof. Bull*, *886*, 22-23.

- Liu, J., Fu, Z., & Liu, W. (2023). Impacts of precipitation variations on agricultural water scarcity under historical and future climate change. *Journal of Hydrology*, 617, 128999.
- Liu, J., Wang, Y., Yu, Z., Cao, X., Tian, L., Sun, S., & Wu, P. (2017). A comprehensive analysis of blue water scarcity from the production, consumption, and water transfer perspectives. *Ecological Indicators*, 72, 870-880.
- Ma, H., Shi, C., & Chou, N.T. (2016). China's water utilization efficiency: An analysis with environmental considerations. *Sustainability*, 8(6), 516.
- Majsztzik, J.C., Ristvey, A.G., & Lea-Cox, J.D. (2011). 7 Water and Nutrient Management in the Production of Container-Grown Ornamentals. *Horticultural Reviews*, 38(1), 253-297.
- Majsztzik, J.C., Price, E.W., & King, D.M. (2013). Environmental benefits of wireless sensor-based irrigation networks: Case-study projections and potential adoption rates. *HortTechnology*, 23(6), 783-793.
- Malhi, G.S., Kaur, M., & Kaushik, P. (2021). Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: A review. *Sustainability*, 13(3), 1318.
- Manju, S., & Sagar, N. (2017). Renewable energy integrated desalination: A sustainable solution to overcome future fresh-water scarcity in India. *Sustain. Energy. Rev.* 73:594-609.
- Mitrică, B., Mitrică, E., Enciu, P., & Mocanu, I. (2017). An approach for forecasting of public water scarcity at the end of the 21st century, in the Timiș Plain of Romania. *Technological Forecasting and Social Change*, 118, 258-269.
- Morison, J.I.L., Baker, N.R., Mullineaux, P.M., & Davies, W.J. (2007). *Improving water use in crop production*. *Philos. TR Soc. B* 363: 639-658.
- Narayanamoorthy, A. (1997). Economic viability of drip irrigation: An empirical analysis from Maharashtra. *Indian Journal of Agricultural Economics*, 52(4), 728-739.
- Nemali, K.S., & van Iersel, M.W. (2006). An automated system for controlling drought stress and irrigation in potted plants. *Scientia horticultrae*, 110(3), 292-297.

- Reich, D.A., Broner, I., Chávez, J.L., & Godin, R.E. (2009). *Subsurface Drip Irrigation, SDI* (pp. 1-3). Colorado State University Extension.
- Rijsberman, F. (2006). Water scarcity: Fact or fiction? *Agricultural Water Management*, 80 (1-3 SPEC. ISS.), pp. 5-22.
- Scanlon, B.R., Fakhreddine, S., Rateb, A., de Graaf, I., Famiglietti, J., Gleeson, T., Grafton, R.Q., Jobbagy, E., Kebede, S., Kolusu, R.S., Konikow, L.F., Long, D., Mekonnen, M., Schmied, H.M., Mukherjee, A., MacDonald, A., Reedy, R.C., Shamsudduha, M., Simmons, C.T., Sun, A., Taylor, R.G., Villholth, K.G., Vorosmarty, C.J., Zheng, C. (2023). Global water resources and the role of groundwater in a resilient future. *Nature Reviews Earth & Environment*, 4.
- Sharma, S.K. (2007). Roof – top rainwater harvesting technique in an urban area – a case study from India. *NOVATECH*, (pp. 197-203).
- Simonne, E., Hochmuth, R., Brem, J., Lamont, W., Treadwell, D., & Gazula, A. (2012). Drip irrigation system for small conventional vegetable farms and organic. *Vegetable Farms University of Florida IFAS Extension HS1203*.
- Smakhtin, V., Revenga, C., & Döll, P. (2004). *Taking into account environmental water*. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Research Report 2, IWMI, Colombo, Sri Lanka.
- Smidt, S.J., Kendall, A.D., Hyndman, D.W. (2019). Increased Dependence on Irrigated Crop Production across the CONUS, *Water*, 11, 1548.
- Soulis, K.X., & Elmaloglou, S. (2018). Optimum soil water content sensors placement for surface drip irrigation scheduling in layered soils. *Computers and electronics in agriculture*, 152, 1-8.
- Velasco-Muñoz, J.F., Aznar-Sánchez, J.A., Batlles-delaFuente, A., & Fidelibus, M. D. (2019). Sustainable irrigation in agriculture: An analysis of global research. *Water*, 11(9), 1758.
- Violino, S., Figorilli, S., Ferrigno, M., Manganiello, V., Pallottino, F., Costa, C., & Menesatti, P. (2023). A data-driven bibliometric review on precision irrigation. *Smart Agricultural Technology*, 100320.
- Yang, C. Technologies to improve water management for rice cultivation to cope with climate change. *Crop Environ. Bioinform.* **2012**, 9, 193–207.

- Zhang, Y., Zhang, Y., Shi, K., & Yao, X. (2017). Research development, current hotspots, and future directions of water research based on MODIS images: A critical review with a bibliometric analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 15226-15239.
- Zhang, B., Fu, Z., Wang, J., & Zhang, L. (2019). Farmers' adoption of water-saving irrigation technology alleviates water scarcity in metropolis suburbs: A case study of Beijing, China. *Agricultural Water Management*, 212, 349-357.
- Wallace, J. (2000). Increasing agricultural water use efficiency to meet future food production. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 82 (1-3), pp. 105-119.
- Wang, J., Barański, M., Hasanaliyeva, G., Korkut, R., Kalee, H.A., Leifert, A., & Volakakis, N. (2021). Effect of irrigation, fertiliser type and variety on grain yield and nutritional quality of spelt wheat (*Triticum spelta*) grown under semi-arid conditions. *Food Chemistry*, 358, 129826.
- Wheeler, W.D., Thomas, P., van Iersel, M., & Chappell, M. (2018). Implementation of sensor-based automated irrigation in commercial floriculture production: A case study. *HortTechnology*, 28(6), 719-727.
- Wichelns, D., & Oster, J.D. (2006). Sustainable irrigation is necessary and achievable, but direct costs and environmental impacts can be substantial. *Agricultural Water Management*, 86(1-2), 114-127.
- Wolfe, D.W., DeGaetano, A.T., Peck, G.M., Carey, M., Ziska, L.H., Lea-Cox, J., & Hollinger, D.Y. (2018). Unique challenges and opportunities for northeastern US crop production in a changing climate. *Climatic change*, 146, 231-245.
- World Health Organization, (2007). The world health report 2007 - A safer future: global public health security in the 21st century. WHO.
- Wu, W., & Ma, B. (2015). Integrated nutrient management (INM) for sustaining crop productivity and reducing environmental impact: A review. *Science of the Total Environment*, 512, 415-427.
- Xue, J., Guan, H., Huo, Z., Wang, F., Huang, G., & Boll, J. (2017). Water saving practices enhance regional efficiency of water consumption and water productivity in an arid agricultural area with shallow groundwater. *Agricultural Water Management*, 194, 78-89.

B¼L¼M 6

FOSFOR ALIMINI İYİLEŞTİRMEK İÇİN MİKORİZAL MANTARLARIN KULLANILMASI

¼ğr. Gör. Dr. Murat KARAKUŞ^{1*}
Y¼ksek Ziraat M¼h. Rufayi KARATAŐ²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14542983>

^{1*} Bolu Abant İzzet Baysal ¼niversitesi, Seben İzzet Baysal MYO, Bitkisel ve Hayvansal ¼retim B¼l¼m¼, Bolu, T¼rkiye. muratkarakus@ibu.edu.tr

² Atat¼rk ¼niversitesi, Fen Bilimleri Enstit¼s¼, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Erzurum, T¼rkiye. rufayik.1@gmail.com

GİRİŞ

İnsanlığın var oluşundan bu yana insanlık için en önemli sorun beslenme olmuştur. İnsanlık beslenmesini çeşitli hayvansal gıdalar ve bitkisel gıdalar olmak üzere iki ana unsurdan sağlamaktadır. Bu nedenle insanlığın başlangıcından bu yana bitkiler insanlar için büyük önem arz etmektedir. İlk insanların varlığı ile toplayıcılık başlamış ve insanların yeryüzünde yeni arayışlara keşiflere başlamasıyla gittikleri yerlere yedikleri (tükettikleri) bitkilerin tohumlarını yanlarında götürmüşlerdir, böylece bu tohumları çeşitli alanlarda yetiştirerek tarımı geliştirmeye başlamışlar, böylece ilk bitkiler kültürüne alınmıştır.

Modern tarım, dünya nüfusunun hızla artmasıyla birlikte ortaya çıkan çeşitli çevresel zorluklar karşısında köklü dönüşümler geçirerek yeniden şekillenmektedir (Koca ve ark., 2023). Son yüzyılda ziraat alanındaki gelişmeler ile kimyasal kullanımı da bilinçsiz bir şekilde artmış, bu durum su, toprak ve hava gibi yaşam kaynaklarının hızla kirlenmesine neden olmuştur. Doğanın dengesinin bozulması dünyada iklim değişikliğine ve dolaylı yoldan toprağın yapısı ve toprak özelliklerinin deformasyonuna sebep olmuştur. Bu sebeplerle üzerinde tarım yapılan toprakların yapısının bozulması, toprak tuzluluğunun artması veya toprak tekstüründe kireç oranının yükselmesi genel anlamda bitki gelişimini ve verimi olumsuz etkilemiştir. (Kadioğlu, 2021; Sönmez ve Kılıç, 2021). Bu nedenle, bitkilerin sağlıklı büyüme ve gelişimi için gerekli olan bitki besin elementlerinin önemi, sürdürülebilir tarım uygulamalarında ve çevresel dengenin korunmasında kritik bir rol oynamaktadır.

1. BİTKİ BESİN ELEMENTLERİNİN TANIMI

Bitkiler, gelişim gösterdikleri ortamdaki hem toprak altı hem de toprak üstü organları aracılığıyla çok sayıda elementi bünyelerine alırlar. Rus bilim insanlarının çalışmalarına göre, bitkiler buldukları çevreden toplamda 74 farklı elementi absorbe etmektedir. Ancak bu elementlerden yalnızca küçük bir kısmı, bitkiler için Mutlak Gerekli Besin Elementi olarak kabul edilmektedir. Bir elementin bu kategoriye girebilmesi için şu kriterleri karşılaması gerekir:

1. Eksikliğin Gelişime Etkisi: Elementin eksikliği durumunda, bitkinin vejetatif veya generatif gelişimini tamamlayamaması ve bu eksikliğin vejetasyon dönemi içinde giderilememesi gerekmektedir.
2. Özgünlük: Element eksikliğinden kaynaklanan sorunların yalnızca o elementin sağlanmasıyla ortadan kaldırılabilmemesi gerekmektedir.
3. Kendine Has Etki Mekanizması: Elementin bitkide kendine özgü bir etki mekanizmasına sahip olması gereklidir. Bu etki, ortam koşullarındaki olumsuz mikrobiyolojik ya da kimyasal durumları düzeltmek ya da bir enzimatik sistemde görev almak gibi dolaylı bir fonksiyon olmamalıdır (Halilova, 1996).

Bitkiler atmosfer, su ve topraktan en az 90 farklı elementi bünyelerine alabilmektedir. Ancak, mutlak gerekli bitki besin elementleri konusunda bilim insanları arasında fikir birliği tam anlamıyla sağlanamamıştır. Bunun temel nedeni, bitki çeşitliliğine bağlı olarak bu elementlerin tüm bitkiler için aynı derecede vazgeçilmez olmamasıdır. Artan teknoloji ve araştırmalarla birlikte, mutlak gerekli

besin elementleri listesine yeni elementler eklenebilmekte veya mevcut liste güncellenmektedir. Bitkilerin optimal büyüme ve gelişme gösterebilmesi için en az 17 elemente ihtiyaç duyduğu genel kabul görmektedir. Bu elementlerden üçü oksijen (O), hidrojen (H) ve karbon (C) olup, bitkinin temel yapısını oluşturan elementlerdir (Yıldırım ve Alatürk, 2023).

Tisdale ve ark. (1985), bitki gelişimi için mutlak gerekli 20 element belirlemiştir. Bu elementler şunlardır: Karbon (C), azot (N), potasyum (K), fosfor (P), hidrojen (H), kalsiyum (Ca), oksijen (O), magnezyum (Mg), kükürt (S), bakır (Cu), molibden (Mo), silisyum (Si), çinko (Zn), klor (Cl), mangan (Mn), sodyum (Na), demir (Fe), kobalt (Co) ve bor (B).

2. BİTKİ BESİN ELEMENTLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Mutlak gerekli besin elementleri, farklı araştırmacılar tarafından çeşitli şekillerde sınıflandırılmıştır. Yaygın olarak kabul gören sınıflandırmalar arasında şu iki yöntem öne çıkmaktadır:

- Miktarlarına Göre Sınıflandırma: Mikro elementler ve makro elementler olarak iki ana gruba ayrılmaktadır.
- Fonksiyonlarına Göre Sınıflandırma: Temel (main) ve iz (trace) elementler şeklinde gruplandırılmaktadır.

Bergmann (1992), bitki gelişimi için mutlak gerekli elementleri miktarlarına ve işlevlerine göre Tablo 1'de gösterilen şekilde sınıflandırmıştır.

Yukarıda açıklanan bilgiler ışığında, bitki besin elementlerinin tanımı ve sınıflandırılması bilimsel ilerlemeler doğrultusunda sürekli yenilenmekte ve geliştirilmektedir.

Tablo 1. Tüm yüksek bitkiler için mutlak gerekli elementler (Bergmann 1992; Kacar ve Katkat, 2010)

Organik maddelerde bulunan temel elementler	Besin elementleri	
	Makro elementler	Mikro elementler
H, O, C	P, N, K, S, Mg, Ca	Cl, B, Zn, Fe, Mo, Mn, (Al)*, (Na), (Ni), (Co), (Si)

*Parentez içerisinde gösterilen elementler bazı bitkiler için mutlak gerekli besin elementleridir ve bu konuda tartışmalar sürmektedir.

3. BİTKİ BESİN ELEMENTİ OLARAK FOSFOR

İnsanlık tarihinin en eski kültürel faaliyetlerinden biri olan ziraat, artan insan nüfusunu beslemek için sürekli gelişmiştir. Ancak nüfus artışı, tarımın genişlemesiyle birlikte barınma sorununu da beraberinde getirmiştir. Bu soruna çözüm arayışı sırasında, tarım arazileri de dahil olmak üzere yeni araziler imara açılmış ve tarım alanlarında kayıplar yaşanmıştır. Bunun sonucunda, azalan tarım arazilerinden daha fazla ürün alabilmek amacıyla yoğun tarım uygulamalarına geçilmiş ve gübre kullanımı gibi girdilerin önemi artmıştır. Özellikle 1950'lerden sonra makineleşme ile birlikte kimyasal gübre kullanımı hız kazanmıştır. Verimliliği artırmak amacıyla kullanılan gübreler arasında fosfor, bitki beslenmesinde temel bir rol oynamaktadır. Fosforun önemi, tarımsal üretimin

sürdürülebilirliği açısından ayrı bir başlık altında ele alınmayı gerektirmektedir.

3.1. Fosfor nedir?

Fosfor, toprakta doğal olarak bulunan apatit minerali kaynaklı bir elementtir. Apatit, genellikle hidroksiapatit ve florapatit gibi bileşimler halinde bulunur. Kuvarsitler, mikaşitler ve fillitler gibi kristalin şistler düşük düzeyde fosfor içerirken, bazalt ve diğer bazik magmatik kayalar daha yüksek fosfor miktarlarına sahiptir. Bu kayaların ve minerallerin parçalanmasıyla açığa çıkan fosfor, bitkiler için kullanılabilir forma dönüşür. Bunun yanı sıra, organik maddelerin yapısında da fosfor bulunur ve bu durum toprakta organik fosfor bileşiklerinin varlığına neden olur (Çepel, 1996; Aktaş 1998, Kantarcı, 2000).

3.2. Fosforun topraktaki durumu ve bitkiler tarafından kullanımı

Bitkiler fosforu, primer ortofosfat iyonu ($H_2PO_4^-$) ve sekonder ortofosfat iyonu (HPO_4^{2-}) formlarında alır. Toprak pH'sı, fosforun bu formlarından hangisinin baskın olacağını belirler. Asidik topraklarda fosfor genellikle HPO_4^{2-} , alkali topraklarda ise $H_2PO_4^-$ formunda bulunur. Bitkiler ihtiyaç duydukları fosforun büyük bir kısmını büyüme dönemlerinin erken safhalarında alır. Örneğin, gelişimlerinin yaklaşık %25'ini tamamlamış olan bitkiler, toplam fosfor ihtiyacının %75'ini bu dönemde karşılar.

Fosfat iyonları (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}), nitrat (NO_3^-) ve sülfat (SO_4^{2-}) anyonlarından farklı olarak, bitki içinde indirgenmez ve okside olmuş formunu korur. Fosfor bitkide inorganik fosfor (Pi) ya da organik fosfor bileşikleri şeklinde bulunabilir. Fosfat iyonları, bitki metabolizmasında enerji transferi ve depolama süreçlerinde önemli rol oynayan yüksek enerjili pirofosfat bağlarını (örneğin ATP) oluşturur. Bu bağlar, nişasta sentezinden sakkaroz üretimine, fosfolipit oluşumundan nükleik asitlerin yapı taşlarının sentezine kadar pek çok biyokimyasal süreçte gereklidir (Kaçar ve ark., 2010).

3.3. Fosfor eksikliği ve bitkilerdeki belirtileri

Türkiye’de fosfor, azottan sonra en fazla eksikliği hissedilen besin elementidir (Sezen, 1991). Fosfor eksikliği durumunda, bitkilerin yaprak gelişimi, yaprak sayısı ve yüzey alanı önemli ölçüde azalır. Bu eksiklik, yaprakların klorofil içeriğini artırarak koyu yeşil renkte görünmesine neden olabilir. Fotosentez, fosfor eksikliği durumunda azalır, gövde büyümesi ve kök gelişimi dengesizleşir. Özellikle kökte sakkaroz ve nişasta birikimi artar, bu durum yapraklarda da benzer şekilde gözlenir.

Fosfor eksikliğinin belirtileri genellikle yaşlı yapraklarda görülür ve yapraklar koyu yeşilden mavi-yeşile, daha sonra kırmızı-mor renge döner. Bitkilerde çiçeklenme gecikir, çiçek ve tohum sayısında azalma olur. Fosfor eksikliğinin bitki gelişimi üzerindeki bu etkileri, fosforun enzimler, proteinler, nükleik asitler ve fosfolipitler gibi temel

bileşenlerin sentezinde oynadığı kritik rolden kaynaklanmaktadır (Mengel & Kirkby, 2001)

4. MİKORİZA TİPLERİ VE GENEL ÖZELLİKLERİ

"Mikoriza" terimi, Yunanca "mykes" (mantar) ve "rhiza" (k¼k) kelimelerinin birleşiminden türetilmiş olup, ilk kez Frank (1885) tarafından bitki k¼kleri ile bazı mantar türlerinin mutualist yaşam formlarını tanımlamak için kullanılmıştır (Moser & Haselwandter, 1983; Hayman, 1981). Mikoriza, toprak k¼kenli mantarlarla bitki k¼kleri arasındaki karşılıklı fayda esasına dayalı en yaygın simbiyotik yaşam biçimlerinden biridir (Molina & Trappe, 1984).

Rizosfer olarak adlandırılan k¼k çevresi, mikroorganizmaların en yoğun bulunduğu toprak bölgesidir. Mikroorganizmalar, toprak verimliliği ve bitki gelişimi üzerindeki etkilerine göre yararlı, zararlı veya nötr olarak sınıflandırılır (Whipps, 2001; Bais ve ark., 2006). Mikoriza, dünya genelindeki kara bitkilerinin büyük bir kısmında gör¼len bir yaşam şeklidir. Monokotiledonların %79'u, dikotiledonların %83'¼ ve tüm gymnospermler bu simbiyotik ilişkiye sahiptir. Mikorizal yaşam sergilemeyen bitkiler ise genellikle yüksek tuz, kuraklık veya su altında kalma gibi ekstrem habitatlarda bulunur (Harley, 1984; Brundrett, 1991; Marschner, 1995).

4.1. Mikoriza Türleri

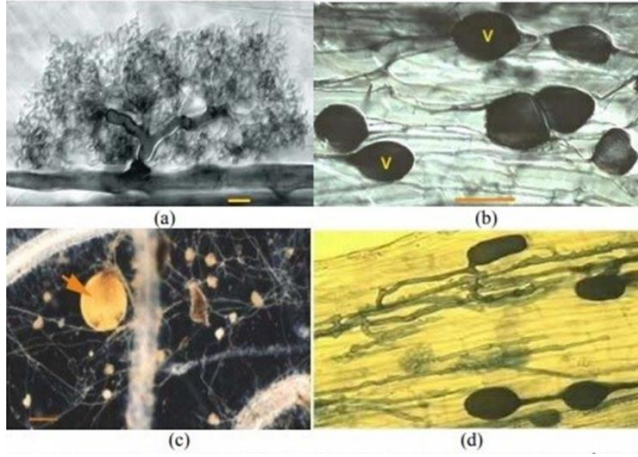
Mikoriza türleri, mantar miselyumunun bitki k¼kleriyle ilişkisine göre sınıflandırılır:

Ektomikoriza: Genellikle odunsu bitkilerde görülür. Kök yüzeyinde Hartig ağı adı verilen bir miselyum tabakası ve kök korteksine nüfuz eden hif yapıları ile tanınır.

Endomikoriza: Kök korteksindeki hücrelerin içine giren ve burada gelişen mantar türlerini içerir. En yaygın türleri arasında Arbusküler Mikoriza (AM) bulunur.

Arbusküler Mikoriza

AM mantarları, bitkilerden karbonhidrat alırken, bitkilerin özellikle fosfor başta olmak üzere besin maddelerine erişimini artırır. Bu mutualist ilişki, her iki tarafın da yaşam süreçlerini optimize etmelerine olanak tanır (Molina & Trappe, 1984; Paul & Frey, 2023). Bu simbiyotik yaşam biçimi, marjinal topraklarda bile bitki büyümesini teşvik ederek tarımda sürdürülebilirliği desteklemektedir. Arbusküler Mikoriza (AM) mantarları, kök korteksinde bulunan arbusküller, yağ ve besin depolayan vesiküller, ektramatrikal hifler ve klamidosporlarla karakterize edilir (Şekil 1). Bu yapıların, bitkilerin besin alımını ve büyümesini desteklemedeki kritik rolü dikkat çekicidir.



Şekil 1. Arbusküler Mikoriza (AM) mantarların farklı yapı türleri, a) arbiskül b) vesikül c) ektramatrikal hifler ve klamidosporlar, d) interselüler hifler (Anonim 2009; Anonim 2024)

AM sporlarının çimlenmesini etkileyen çeşitli çevresel ve biyolojik faktörler bulunmaktadır. Bu faktörler arasında sıcaklık, pH, toprak nemi, toprağın organik ve mineral madde içeriği, ortamdaki konukçu bitkinin varlığı ve mikroorganizmalar önemli rol oynamaktadır (Kapulnik & Douds, 2000).

Bitki kökleri içerisinde ve korteksin dışında hızla yayılan hifler, dış ortamdan bitkiye su ve mineral madde taşıırken, bitkiden dışarıya organik madde transferi sağlar. Bu simbiyotik ilişki, doğası gereği oldukça dinamik bir yapıya sahiptir ve ekosistemde besin döngüsünün yanı sıra bitki yaşamının devamlılığına önemli katkılar sunar. Mikorizal faaliyetlerin etkinliği, çevresel sıcaklık ve nem, oksijen, organik madde varlığı ve ışık gibi faktörlere bağlıdır. Dünya genelinde çok sayıda bitkinin, funguslarla simbiyotik bir ortaklık geliştirdiği belirlenmiştir (Erzurumlu ve Kara, 2014).

5. MİKORİZA KULLANILARAK BİTKİLERDE FOSFOR ALIMININ ARTIRILMASI

Mikorizal mantarların uygulanmasıyla bitkilerde fosfor alımının artırılması çeşitli araştırma bağlamlarında kapsamlı bir şekilde incelenmiş ve belgelenmiştir. Mikorizal mantarlar, özellikle arbüsküler mikorizal mantarlar (AMF), bitki kökleriyle simbiyotik ilişkiler kurarak besin alımını, özellikle de birçok toprakta sınırlayıcı bir besin olan fosforu önemli ölçüde iyileştirir.

Araştırmalar, mikorizal mantarların, bitki köklerinin ulaşamadığı toprak bölgelerine erişebilen hif ağları aracılığıyla kök sistemini uzatarak fosfor alımını artırabileceğini göstermektedir. Örneğin, mikorizal hiflerin fosforu kök kıllarından önemli ölçüde daha yüksek oranlarda emebildiği gösterilmiştir; bazı çalışmalar, mikorizal hifler aracılığıyla fosfor emilim oranının kök kıllarından dört kata kadar daha fazla olabileceğini bildirmektedir (Yue & Liu, 2015). Bu gelişmiş alım, özellikle AMF'nin varlığının bitki biyokütlesi ve besin içeriğinin iyileştirilmesine yol açabileceği fosfor eksikliği olan topraklarda bitki büyümesi için çok önemlidir (Ahmed ve ark., 2011; Hou ve ark., 2021).

Doğrudan fosfor alımına ek olarak, mikorizal mantarlar ayrıca topraktaki organik ve inorganik kaynaklardan fosforun harekete geçirilmesini kolaylaştırabilir. Örneğin, mikorizal mantarlar tarafından organik asitlerin salgılanması, bağlı fosforu çözebilir ve bitkiler için daha kullanılabilir hale getirebilir (Zhang ve ark., 2023). Bu süreç, geleneksel gübrelemenin etkili olmayabileceği yüksek fosfor

fiksasyon kapasitesine sahip topraklarda ¼zellikle faydalıdır. alışmalar, bitkilerin AMF ve fosfor ¼z¼c¼ mantarlarla birlikte aşılanmasının fosfor harekete geçirilmesini ve alımını sinerjik olarak artırabileceğini g¼stermiřtir (Jatana ve ark., 2021).

Ayrıca, mikorizal mantarlar ile biyok¼m¼r ve organik madde gibi diğer toprak iyileştiricileri arasındaki etkileşimin fosfor bulunabilirliğini daha da artırdığı g¼sterilmiřtir. ¼rneđin, mikorizal aşılama ile birlikte biyok¼m¼r uygulaması, artan fosfor alımı ve gelişmiş bitki b¼y¼mesi ile ilişkilendirilmiştir (Momayezi ve ark., 2015; Tahjib-Ul-Arif ve ark., 2018). Bu, mikorizal aşılamanın diğer toprak y¼netimi uygulamalarıyla entegre edilmesinin besin alımını optimize edebileceğini ve bitki verimliliğini artırabileceğini g¼stermektedir.

Mikorizal mantarların fosfor alımını artırmadaki etkinliği, bitki t¼rlerinden ve evre koşullarından da etkilenir. Bazı bitki t¼rleri, fosfor edinimi için mikorizal ilişkilere diğerlerinden daha fazla g¼venir. ¼rneđin, *Medicago truncatula* ¼zerindeki çalışmalar, fosfor alımı için mikorizal yollara olan bağımlılığını vurgulamış ve mikorizal olmayan kontrollerle karşılaştırıldığında mikorizal bitkilerde ¼nemli ¼l¼de daha y¼ksek fosfor konsantrasyonları g¼stermiřtir (Konvalinkov ve ark., 2015; Watts-Williams ve ark., 2015). Ek olarak, toprak pH'ı ve besin bulunabilirliği gibi fakt¼rler mikorizal kolonizasyon derecesini ve ardından fosfor alımını etkileyebilir (Snchez-Esteva ve ark., 2016).

SONUÇ

Mikorizal mantarların uygulanması, bitkilerde fosfor alımını artırmak için umut verici bir stratejiyi temsil etmektedir. Kök sistemlerini uzatma, fosforu harekete geçirme ve diğer toprak düzenleyicileriyle sinerjik olarak çalışma yetenekleri, onları besin verimliliğini ve ürün verimliliğini artırmayı amaçlayan sürdürülebilir tarım uygulamalarında kritik bir bileşen olarak konumlandırır.

KAYNAKÇA

- Ahmed, F. R. S., Alexander, I. J., Mwinyihija, M., & Killham, K. (2011). Effect of superphosphate and arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* on phosphorus and arsenic uptake in lentil (*Lens culinaris* L.). *Water, Air, & Soil Pollution*, 221, 169-182.
- Aktaş, M. (1998). *Bitkilerde beslenme bozuklukları: Nedenleri ve Tanınmaları*. Engin Yayınevi.
- Anonim (2009). http://www.biology.ed.ac.uk/research/groups/jdeacon/FungalBiology/fig13_1b.jpg, Erişim: 11.06.2009
- Anonim (2024). <http://www.sft66.com/fungi/html/vam.html>, Erişim: 17.10.2024
- Bais, H. P., Weir, T. L., Perry, L. G., Gilroy, S., & Vivanco, J. M. (2006). The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 57(1), 233-266.
- Bergmann W (1992). *Nutritional Disorders of Plants-Development, Visual and Analytical Diagnosis*. P 1-741. Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart, New York.
- Brundrett, M. (1991). Mycorrhizas in natural ecosystems. In *Advances in ecological research* (Vol. 21, pp. 171-313). Academic Press.
- Çepel N (1996). Toprak ilmi. İÜ Yayın No 3945, Orman Fakültesi Yayın No: 438. İstanbul.
- Erzurumlu, G. S., & Kara, E. E. (2014). Mikoriza konusunda Türkiye’de yapılan çalışmalar. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, (2), 55-65.
- Molina, R., & Trappe, J. M. (1984). Mycorrhiza management in bareroot nurseries. In *Forestry nursery manual: Production of bareroot seedlings* (pp. 211-223). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Frank, B. (1885). Influence on different types of mycorrhizal fungi on soil productivity.
- Halilova, H. (1996) Mikro elementlerin biyojeokimyası ve çevredeki yeri. Tarım ve Köy Dergisi III. 52-53. Eylül-Ekim, Ankara.
- Harley, J. L. (1984). The mycorrhizal associations. In *Cellular interactions* (pp. 148-186). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

- Hayman, D. S. (1981). Mycorrhiza and its significance in horticulture. *The Plantsman*, 2(4).
- Hou, L., Zhang, X., Feng, G., Li, Z., Zhang, Y., & Cao, N. (2021). Arbuscular mycorrhizal enhancement of phosphorus uptake and yields of maize under high planting density in the black soil region of China. *Scientific reports*, 11(1), 1100.
- Jatana, B. S., Kitchens, C., Ray, C., Gerard, P., & Tharayil, N. (2021). Dual inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus solubilizing fungi synergistically enhances the mobilization and plant uptake of phosphorus from meat and bone meal. *Frontiers in Soil Science*, 1, 757839.
- Kacar, B., & Katkat, V. (2010). Bitki besleme (5. Basım), Nobel Yayın Dağıtım Tic. Ltd. Şti: Kızılay-Ankara.
- Kaçar, B., Katkat, A. V., & Öztürk, Ş. (2010). Bitki fizyolojisi. 4. Basım. *Fen Bilimleri Nobel Yayın No*, 848.
- Kadioğlu, B. (2021). Toprak kirliliği ile kimyasal gübre kullanımı arasındaki olası bağlantıların incelenmesi. *Muş Alparslan University Journal of Agriculture and Nature*, 1(2), 26-38.
- Kantarci M D (2000). Toprak İlimi. İÜ Toprak İlimi ve Ekoloji Anabilim Dalı, İ Ü Yayın No. 4261, Orman Fakültesi Yayın No. 462, İstanbul, 420 s.
- Kapulnik, Y. & Douds, D. D. Jr (eds.) 2000. Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function. Springer Dordrecht. Printed in the Netherlands.p: 47-68.
- Koca, S., Yılmaz, A., & Kaçar, G. (2023). Tıbbi ve aromatik bitkilerin insektisit etkisi. In A. Yılmaz & H. Yılmaz (Eds.), *Bitkilerde stres direncini artırma yöntemleri* (pp. 91-115). Adıyaman, Türkiye: İKSAD Publishing House.
- Konvalinková, T., Püschel, D., Janoušková, M., Gryndler, M., & Jansa, J. (2015). Duration and intensity of shade differentially affects mycorrhizal growth-and phosphorus uptake responses of *Medicago truncatula*. *Frontiers in plant science*, 6, 65.
- Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants 2nd edn. *Institute of Plant Nutrition University of Hohenheim: Germany*.

- Mengel, K. & E.A. Kirkby, 2001. Principles of Plant Nutrition. 5th Edition, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 875 pp
- Momayezi, M., Pereira, R. C., & Self, R. (2015). Biochar and mycorrhizal fungi influence on nutrient uptake by two pasture species in New Zealand.
- Moser, M., & Haselwandter, K. (1983). Ecophysiology of mycorrhizal symbioses. *Physiological Plant Ecology III: Responses to the Chemical and Biological Environment*, 391-421.
- Paul, E., & Frey, S. (Eds.). (2023). *Soil microbiology, ecology and biochemistry*. Elsevier.
- Sánchez-Esteva, S., Gómez-Muñoz, B., Jensen, L. S., de Neergaard, A., & Magid, J. (2016). The effect of *Penicillium bilaii* on wheat growth and phosphorus uptake as affected by soil pH, soil P and application of sewage sludge. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 3, 1-11.
- Sezen Y. (1991). Gübreler ve Gübreleme. Ata. Üniv Yay. No: 679, Zir. Fak. Yay.303, Ders Kit. No: 55. S. 276.
- Sönmez, O., & Kılıç, F. N. (2021). Toprakta ağır metal kirliliği ve giderim yöntemleri. *Turkish Journal of Agricultural Engineering Research*, 2(2), 493-507.
- Tahjib-Ul-Arif, M., Ghosh, A., Chamely, S. G., Haque, M. R., & Rahman, M. M. (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation with organic matter and phosphorus supplementation enhance nutrient contents of *Amaranthus tricolor* L. and *Basella alba* L. by improving nutrients uptake. *Trop Plant Res*, 5(3), 375-384.
- Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (1985). *Soil fertility and fertilizers* (pp. 754-pp). Macmillan Publishing Company, New York.
- Watts-Williams, S. J., Jakobsen, I., Cavagnaro, T. R., & Grønlund, M. (2015). Local and distal effects of arbuscular mycorrhizal colonization on direct pathway Pi uptake and root growth in *Medicago truncatula*. *Journal of Experimental Botany*, 66(13), 4061-4073.
- Whipps, J. M. (2001). Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. *Journal of experimental Botany*, 52(suppl_1), 487-511.

- Yıldırım, B., & Alatürk, F. (2023). Bazı şeker sorgum ve sorgum sudan otu melezi çeşitlerinde farklı biçim uygulamalarına göre yaprak ve sapların mineral element içerilerindeki değışimlerin belirlenmesi. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11(2), 443-457.
- Yue, H., & Liu, Y. (2015). A Study on the Reclamation and Ecological Restoration in Subsidence Land in Chinese Coal Mine Area. *The Open Civil Engineering Journal*, 9(1).
- Zhang, T., Meng, F., & Yin, D. (2023). Effect of ectomycorrhizal fungi on the activation and uptake of phosphorus in *Populus davidiana* × *P. bolleana* mycorrhizosphere and hyphosphere.

BÖLÜM 7

MEYVE YETİŞTİRİCİLİğİNDE ABİYOTİK STRES KAYNAKLARI ÜZERİNE FİTOHORMONLARIN ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Akgül TAŞ^{1*}

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14542989>

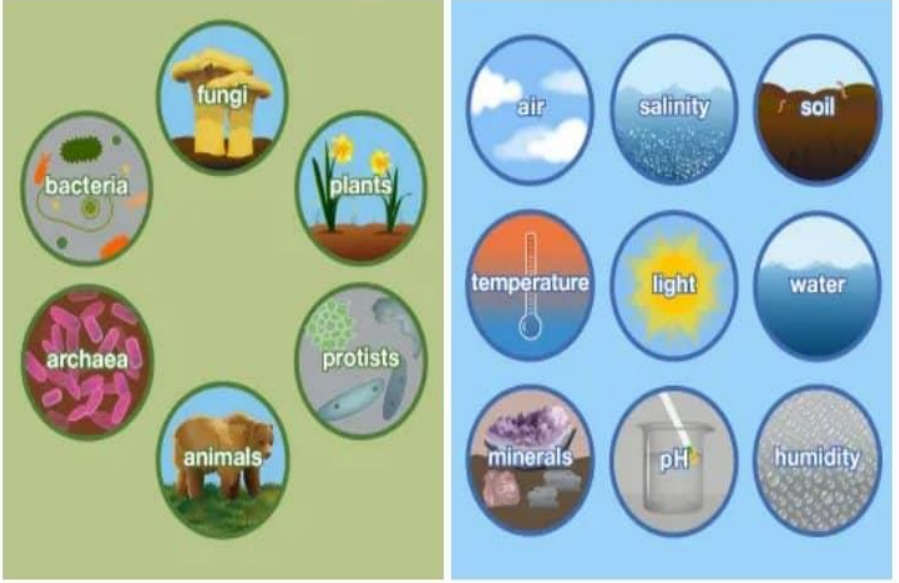
^{1*} Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Bolu, Türkiye. * akgulltas@gmail.com

GİRİŞ

Su ve gıda gereksinimleri, evrendeki t¼m canlı yaşamının vazgeçilmez temel kaynaklarıdır. Gıda ihtiyacı içerisinde hayvansal içerikli ¼r¼nlerin yanı sıra soframıza gelen ¼r¼nlerin b¼y¼k bir çoğunluğunu ‘bitkisel ¼r¼nler’ oluşturur. ¼zellikle de insanların beslenmesinde birçok faydaları bulunan bitkisel ¼r¼nlerin başında ise ‘meyveler’ gelmektedir (Foley ve ark., 2011).

Açık alan koşullarında, arazi veya bahçe ortamlarında yapılabilen meyve yetiştiriciliğinde, ağaçlar; zararlı b¼cekler, bakteriler, funguslar ve vir¼sler gibi canlı etmenlerin rol aldığı ‘biyotik’ stresler ile cansız etmenlerin yer aldığı ‘abiyotik’ streslerin s¼rekli baskısı altında bulunurlar (Daryanto ve ark., 2016; Farooq ve ark., 2017) (şekil 1).

Bitkiler, ¼zellikle de meyve ¼r¼nleri, abiyotik çevresel stres kaynaklarına oldukça hassastırlar. Nitekim, meyve gelişim ve verimliliğini etkileyen abiyotik stres kaynaklarının başında; kuraklık, ısı stresi, soğuk-¼ř¼me zararı, nem, ışık, besin, tuzluluk ve ağır metaller gibi ¼nemli fakt¼rler gelmektedir (Javeed ve ark., 2021).



Şekil 1. Biyotik faktörler ve abiyotik faktörler (Anonim, 2023).

1. MEYVELERDE ABİYOTİK STRES KAYNAKLARI ÜZERİNE FİTOHORMONLARIN ETKİSİ

Günümüzde, tüm canlıların ihtiyaçlarını karşılayabilir düzeyde gıda tedariki ve güvenilir gıdaya erişim konusu, özellikle de dünya çapında olumsuz etkileri önemli ölçüde hissedilmeye başlanan küresel ısınma etkileriyle birlikte, artan şekilde önemli bir endişe kaynağı haline gelmiştir (Zainab ve ark., 2021; Hussain ve ark., 2022). Özellikle de kuraklık ve toprak tuzluluğu faktörleri, küresel iklim krizlerinin başında gelmekte olup ışık, besin, tuzluluk ve ağır metaller gibi diğer abiyotik stres kaynakları da meyvelerin üretimi, işlenmesi, dağıtımı ve depolanması sırasında oldukça etkili olabilen temel tarımsal kısıtlamalardandır (Ali ve ark., 2020).

Meyvelerde, çeşitli abiyotik stres kaynakları nedeniyle verimlilikte meydana gelen azalmaların yanı sıra bitkide morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal olarak da önemli değişiklikler oluşabilmektedir (Martinez-Nicolas ve ark., 2019). Buna göre, abiyotik stresler sonucu meyvelerde tetiklenebilen önemli morfolojik değişiklikler arasında; geri kalmış sürgün ve kök büyümesi, çiçek dökülmesi, düşük meyve tutumu ve deforme olmuş meyve şekli gibi değişimler gözlenir (Muhammad Aslam ve ark., 2022; Yahaya ve Shimelis, 2022). Bununla birlikte, abiyotik stresler sonucu meyvelerde fizyolojik düzeyde gerçekleşen değişiklikler açısından fotosentez, solunum, terleme ve asimilasyon oranları gibi temel mekanizmalar olumsuz yönde etkilenebilmektedir (Tatari ve ark., 2020; Adiba ve ark., 2021; Pepe ve ark., 2022). Öte yandan, biyokimyasal değişiklikler bakımından, olumsuz abiyotik faktörler sonucu meyvelerde yaşanan strese karşılık olarak bitki tarafından çeşitli ‘fitohormonlar’ üretilerek abiyotik streslerin olumsuz etkileri nötralize edilebilmektedir (Bons ve Kaur, 2019). Dolayısıyla, meyveleri abiyotik streslere karşı başarılı bir şekilde koruyabilme durumunun kanıtlandığı çoğu literatür araştırmalarında değinilen önemli bitki hormonları arasında; absisik asit, oksinler, brassinosteroidler, gibberellinler, jasmonik asit, sitokininler, etilen, salisilik asit, strigolaktonlar, nitrik oksit, melatonin ve poliaminler bulunmaktadır (Aftab ve Roychoudhury, 2021).

Bitkilerde kendiliğinden doğal olarak bulunabilen veya dışarıdan sentetik olarak uygulanabilen fitohormonlar; bitki hücre, doku ve organlarının büyüme ve farklılaşması gibi belirli fizyolojik süreçlerin

düzenlenmesi, uygun çiçeklenme ve tohum çimlenmesinin sağlanması, meyve dökümünün azaltılması, meyve tutumu ve meyve kalitesinin iyileştirilmesi gibi birçok önemli görevlerde rol alabilmektedir (Aftab ve Roychoudhury, 2021).

Birtakım araştırmacılar, fitohormonlardan absisik asit, salisilik asit, etilen ve jasmonik asidin meyvelerde çevresel streslere verilen tepkilerde merkezi bir rol oynadıklarını bildirmişlerdir (Peleg ve Blumwald, 2011; Wasternack, 2014).

1960'lı yılların başlarında keşfedilen absisik asit; tohumun olgunlaşmasını ve uykuda kalmasını, stomaların açılıp kapanması yoluyla bitki gövdesindeki suyun düzenlenmesini sağlayan, abiyotik streslere adaptasyonda önemli görevleri bulunan bir fitohormondur (Awan ve ark., 2017; Arkhipova ve ark., 2020). Bununla birlikte, hemen hemen çoğu bitki türlerinden üretilen ve hayati bitki büyüme düzenleyicilerinden biri olan salisilik asidin; bitki ve meyvelerde bir dizi biyokimyasal ve fizyolojik süreçleri düzenlediği ve bu organizmalarda tuzluluğun olumsuz etkilerini önemli ölçüde hafifletebildiği bilinmektedir (Horváth ve ark., 2007). Ek olarak, bitkisel organizmalarda gaz halinde bulunan etilen, meyvelerde olumsuz çevresel faktörlere karşı tepki olarak, tohumların çimlenmesi, çiçekleri gelişmesi ve meyvenin olgunlaşması gibi birçok hayati morfo-fizyolojik süreçlerde yer almaktadır. Ayrıca, bu fitohormon; ısı, kuraklık, soğukluk, tuzluluk, ağır metaller ve su basması gibi önemli abiyotik streslere maruz kalan meyvelerde, stresle ilişkili çeşitli biyokimyasal tepkileri düzenler (Awan ve ark., 2017). Bitki gövdesinin

her yerinde ¼zellikle de gen¼ organlarında bulunan bir diğer fitohormon jasmonik asidin ise abiyotik stres kaynaklarından kuraklık, tuzluluk, soğuk ve sıcaklık streslerine karşı meyveleri başarılı bir şekilde koruduğu bilinmektedir (Sasaki-Sekimoto ve ark., 2005; Yoshikawa ve ark., 2007).

SONUÇ

Çeşitli abiyotik stres kaynakları, ¼zellikle de tohumun çimlenme ve büyümesi aşamalarında olmak üzere, meyvelerin tüm fenolojik dönemlerinde, büyüme ve gelişimi önemli ölçüde olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Abiyotik stres kaynaklı olarak meyvelerde meydana gelen olumsuz etkilerin çoğunda bitkide ihtiyaç ölçüsünde besin varlığının olması oldukça önemlidir. Buna göre, olumsuz çevresel faktörlere maruz kalan bitkilerde, fitohormonlar, besin maddelerini topraktan kolaylıkla alarak bitkilere sunabilme yeteneğine sahiptir. Fitohormonların farklı bitki fizyolojik süreçlerindeki rolleri göz önüne alındığında, bu hormonların ekzojen olarak uygulanması, meyvelerde abiyotik stres toleranslarını önemli ölçüde artırabilmektedir. Ayrıca, fitohormonların uygulanması aracılığıyla, meyveler üzerinde birden fazla faydalı etki sağlanarak bitkide abiyotik streslerin neden olduğu olumsuz etkiler önemli derecede hafifletilebilmektedir. Örneğin, bir fitohormonun uygulanması ile meyvelerde büyümenin teşvik edilmesinin yanı sıra topraktaki besin bulunabilirliği iyileştirilebilir, besin alımına yardımcı olunabilir ve böylece bitkilerde stres toleransı artırılabilir. Dolayısıyla, abiyotik stresli meyvelerde fitohormonların

uygulanması, bitki stresinin başarılı bir şekilde yönetilmesi açısından başvurulan iyi bir stratejidir.

Meyvelerde uygulanan fitohormonların her birisinin yaşanan abiyotik stres kaynaklarına karşı belirli rolleri bulunmaktadır. Nitekim, çoğu fitohormonların görevlerine ilişkin meyveler üzerinde oluşturdukları etki mekanizma yolları bilinmesine rağmen, bu fitohormonların herhangi bir abiyotik stres kaynağı üzerinde toplu olarak nasıl bir etkide bulunduğu ilişkin çalışmalar devam etmektedir. Bununla birlikte, birkaç fitohormonun ‘çapraz düzenleme etkisi’ olarak adlandırılan bu süreç, yeterince anlaşılabilmiş değildir. Bundan dolayı, bu hususla ilgili olarak bilgilerin daha fazla aydınlatılması açısından gelecekte çeşitli araştırmaların yapılmasına gereksinim duyulmaktadır.

KAYNAKÇA

- Adiba, A., Hssaini, L., Haddioui, A., Hamdani, A., Charafi, J., Iraqui, S. E., & Razouk, R. (2021). Pomegranate plasticity to water stress: Attempt to understand interactions between cultivar, year and stress level. *Heliyon*, 7, e07403.
- Aftab, T., & Roychoudhury, A. (2021). Crosstalk among plant growth regulators and signaling molecules during biotic and abiotic stresses: molecular responses and signaling pathways. *Plant Cell Rep.*, 40, 2017–2019.
- Ali, Q., Shahid, S., Nazar, N., Hussain, A. I., Ali, S., Chatha, S. A. S., Perveen, R., Naseem, J., Haider, M. Z., Hussain, B., & Hussain, S. M. (2020). Use of phytohormones in conferring tolerance to environmental stress. In: Hasanuzzaman, M. (eds) *Plant Ecophysiology and Adaptation under Climate Change: Mechanisms and Perspectives II*. Springer, Singapore.
- Anonim (2023). Biyotik ve abiyotik fakyrler nedir? <https://www.mortilki.com/yasam/33932/biyotik-ve-abiyotik-faktorler-nedir.htm>. Erişim tarihi: 20.04.2023.
- Arkipova, T., Martynenko, E., Sharipova, G., Kuzmina, L., Ivanov, I., Garipova, M., & Kudoyarova, G. (2020). Effects of plant growth promoting rhizobacteria on the content of abscisic acid and salt resistance of wheat plants. *Plants*, 9, 1429.
- Awan, F. K., Khurshid, M. Y., & Mehmood, A. J. I. J. I. R. B. (2017). Plant growth regulators and their role in abiotic stress management. *Int. J. Innov. Res. Biosci.*, 1, 9–21.
- Bons, H. K., & Kaur, M. (2019). Role of plant growth regulators in improving fruit set, quality and yield of fruit crops: a review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 95(2), 137–146.
- Daryanto, S., Wang, L., & Jacinthe, P. A. (2016). Global synthesis of drought effects on maize and wheat production. *Plos One*, 11, e0156362.
- Farooq, M., Gogoi, N., Barthakur, S., Baroowa, B., Bharadwaj, N., Alghamdi, S. S., & Siddique, K. H. M. (2017). Drought stress in grain legumes during reproduction and grain filling. *J. Agron. Crop. Sci.*, 203, 81–102.

- Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., Mueller, N. D., O'Connell, C., Ray, D. K., West, P. C., Balzer, C., Bennett, E. M., Carpenter, S. R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, J., Rockström, J., Sheehan, J., Siebert, S., Tilman, D., & Zaks, D. P. M. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, *478*, 337–342.
- Horváth, E., Pál, M., Szalai, G., Páldi, E., & Janda, T. (2007). Exogenous 4-hydroxybenzoic acid and salicylic acid modulate the effect of short-term drought and freezing stress on wheat plants. *Biol. Plantarum*, *51*, 480–487.
- Hussain, S. Q., Rasheed, M., Saleem, M. H., Ahmed, Z. I., Hafeez, A., Jilani, G., Alamri, S., Hashem, M., & Ali, S. (2022). Salt tolerance in maize with melatonin priming to achieve sustainability in yield on salt affected soils. *Pak. J. Bot.*, *55*, 1.
- Javeed, H. M. R., Ali, M., Skalicky, M., Nawaz, F., Qamar, R., Rehman, A. U., Faheem, M., Mubeen, M., Iqbal, M. M., Ur Rahman, M. H., Vachova, P., Brestic, M., Baazeem, A., & El Sabagh, A. (2021). Lipoic acid combined with melatonin mitigates oxidative stress and promotes root formation and growth in salt-stressed canola seedlings (*Brassica napus* L.). *Molecules*, *26*, 3147.
- Martinez-Nicolas, J. J., Galindo, A., Grinan, I., Rodríguez, P., Cruze, Z. N., Martínez-Font, R., Carbonell-Barrachina, A. A., Nouri, H., & Melgarejo, P. (2019). Irrigation water saving during pomegranate flowering and fruit set period do not affect Wonderful and Mollar de Elche cultivars yield and fruit composition. *Agric. Water Manag.*, *226*, 105781.
- Muhammad Aslam, M., Waseem, M., Jakada, B. H., Okal, E. J., Lei, Z., Saqib, H. S. A., Yuan, W., Xu, W., & Zhang, Q. (2022). Mechanisms of abscisic acid-mediated drought stress responses in plants. *Int. J. Mol. Sci.*, *23*, 1084.
- Peleg, Z., & Blumwald, E. (2011). Hormone balance and abiotic stress tolerance in crop plants. *Curr. Opin. Plant Biol.*, *14*, 290–295.
- Pepe, M., Crescente, M. F., & Varone, L. (2022). Effect of water stress on physiological and morphological leaf traits: A comparison among the three widely-spread invasive alien species *Ailanthus altissima*, *Phytolacca americana*, and *Robinia pseudoacacia*. *Plants*, *11*, 899.

- Sasaki-Sekimoto, Y., Taki, N., & Obayashi, T. (2005). Coordinated activation of metabolic pathways for antioxidants and defence compounds by jasmonates and their roles in stress tolerance in *Arabidopsis*. *Plant J.*, *44*, 653–668.
- Tatari, M., Jadidi, E., & Shahmansouri, E. (2020). Study of some physiological responses of different pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars under drought stress to screen for drought tolerance. *Int. J. Fruit. Sci.*, *20*(2), 1798–1813.
- Wasternack, C. (2014). Action of jasmonates in plant stress responses and development-applied aspects. *Biotechnol. Adv.*, *32*, 31–39.
- Yahaya, M. A., & Shimelis, H. (2022). Drought stress in sorghum: Mitigation strategies, breeding methods and Technologies-A review. *J. Agron. Crop. Sci.*, *208*, 127–142.
- Yoshikawa, H., Honda, C., & Kondo, S. (2007). Effect of low-temperature stress on abscisic acid, jasmonates, and polyamines in apples. *Plant Growth Regul.*, *52*, 199–206.
- Zainab, N. A., Khan, A. A., Azeem, M. A., Ali, B., Wang, T., Shi, F., Alghanem, S. M., Hussain Munis, M. F., Hashem, M., Alamri, S., Latef, A. A. H. A., Ali, O. M., Soliman, M. H., & Chaudhary, H. J. (2021). PGPR-mediated plant growth attributes and metal extraction ability of *Sesbania sesban* L. in industrially contaminated soils. *Agronomy*, *11*, 1820.

BÖLÜM 8

TOHUM ÇİMLENMESİNİ GELİŞTİRMEK İÇİN SOĞUK PLAZMA TEKNOLOJİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Sipan SOYSAL^{1*}
Yüksek Ziraat Müh. Rufayi KARATAŐ²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14542991>

^{1*} Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt, Türkiye.

*sipansoyal@siirt.edu.tr

² Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Erzurum, Türkiye. rufayik.1@gmail.com

GİRİŞ

Dünyada toplam ekilebilir arazi miktarı, artan nüfusun tüketim taleplerini karşılamaya yeterli değildir. Gıda ve Tarım Örgütü'ne (FAO) göre, dünya nüfusunun 2050 yılına kadar 10 milyara ulaşması beklenmektedir. Bu durum, yalnızca mevcut gıda üretiminin artırılmasını değil, aynı zamanda üretim kalitesinin iyileştirilmesini zorunlu kılmaktadır (FAO, 2017). Ancak iklim değışikliği, sanayileşme ve kentleşme gibi faktörler, gıda üretimini sınırlayarak küresel gıda kıtlığını daha da derinleştirmektedir (Sivachandiran ve Khacef, 2017). Bu bağlamda, tarımsal üretkenliği artıran teknolojilere olan ihtiyaç her zamankinden daha fazla önem kazanmaktadır.

Tohum çimlenmesini artırmak, ürün verimliliğini iyileştirmek için en temel yöntemlerden biridir. Geleneksel olarak bu amaçla kimyasal uygulamalar yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Ancak, kimyasal uygulamaların çevresel zararları ve insan sağlığına yönelik riskleri, alternatif teknolojilerin geliştirilmesini zorunlu hale getirmiştir (Thirumdas ve ark., 2017). Soğuk plazma teknolojisi, bu bağlamda son yıllarda öne çıkan yenilikçi bir yöntemdir. Termal olmayan plazma kullanılarak tohum yüzey özelliklerini iyileştiren bu teknoloji, su alımı ve besin emilimini artırarak çimlenme oranlarını yükseltebilmektedir. Ayrıca, soğuk plazma uygulamaları, tohumların mikrobiyal dezenfeksiyonunu sağlayarak tarımsal üretimde hastalık kaynaklı kayıpları azaltma potansiyeline sahiptir (Khamsen ve ark., 2016).

Soğuk plazma teknolojisi, tarım sektöründe tohum çimlenmesini iyileştirme ve sürdürülebilir üretimi destekleme noktasında umut verici bir alternatif sunmaktadır. Gelişen bu teknoloji, modern tarımda verimlilik artışı sağlamak adına dikkat çekici bir potansiyele sahiptir.

1. SOĞUK PLAZMA TEKNOLOJİSİNİN ÇİMLENMEDEKİ ÖNEMİ

Soğuk plazma teknolojisi, özellikle tohum çimlenmesini artırmada ve tarımsal uygulamalarda önemli bir ilerleme olarak öne çıkmaktadır. Bu teknoloji, düşük sıcaklıklarda üretilen termal olmayan plazmayı kullanarak, çimlenme oranlarını ve genel bitki büyümesini iyileştiren çeşitli faydalar sağlamaktadır. Soğuk plazmanın tohum çimlenmesi üzerindeki etkileri, tohum yüzey özelliklerinde meydana gelen değişiklikler, artan su alımı ve gelişmiş metabolik aktivitelerle ilişkilendirilen çok yönlü mekanizmalardan oluşmaktadır.

Soğuk plazmanın en temel avantajlarından biri, tohumların yüzey ıslanabilirliğini değiştirme yeteneğidir. Araştırmalar, soğuk plazma işleminin tohumların temas açısını önemli ölçüde azaltarak hidrofilitelerini artırdığını ve çimlenme süreci sırasında su emilimini kolaylaştırdığını göstermektedir (Li ve ark., 2015; Li ve ark., 2016). Örneğin, Li ve arkadaşları, soğuk plazma uygulamasının kolza tohumlarının su alımını iyileştirdiğini ve bu etkinin özellikle kuraklık koşullarında çimlenme için kritik öneme sahip olduğunu belirtmiştir (Li ve ark., 2015). Tohum yüzey ıslanabilirliğindeki bu iyileşme, yalnızca su alımı için değil, aynı zamanda fidelerin büyümesi için gerekli olan

besin maddelerinin alımı açısından da önemlidir (Noormohammadi ve ark., 2019).

Bunun yanı sıra, soğuk plazma uygulamalarının tohumlarda genetik ve morfolojik değişikliklere neden olduğu ve bu değişimlerin bitkilerin büyüme potansiyelini artırdığı da gösterilmiştir. Noormohammadi ve arkadaşlarının çalışmaları, *Catharanthus roseus* tohumlarında hidrofilik özelliklerin artmasıyla daha iyi su ve besin Emilimi sağlandığını, bunun da yaprak alanı ve fotosentez oranında artışa yol açtığını ortaya koymuştur (Noormohammadi ve ark., 2019). Bu tür fizyolojik gelişmeler, özellikle zorlu çevre koşullarında fidelerin başarılı şekilde yerleşmesi için kritik bir öneme sahiptir.

Soğuk plazmanın çimlenme üzerindeki etkisi, aynı zamanda tohumlar içindeki metabolik süreçleri harekete geçirme yeteneğinde de görülmektedir. Bu teknoloji, tohum canlılığını artıran ve çimlenme oranlarını iyileştiren endojen maddelerin aktivasyonu ile ilişkilendirilmektedir (Wei ve ark., 2023). Araştırmalardan elde edilen veriler, soğuk plazmanın büyümeyi teşvik eden hormonların sentezini artıran biyokimyasal yolları aktive ettiğini göstermektedir (Wei ve ark., 2023). Ayrıca, Li ve arkadaşlarının bulguları, bu aktivasyonun daha hızlı ve tekdüze bir çimlenme süreci sağladığını ortaya koymuştur (Li ve ark., 2018).

Çimlenme oranlarını artırmanın yanı sıra, soğuk plazma teknolojisi, tohum sterilizasyonunda da önemli bir rol oynar. Plazma işlemi sırasında üretilen reaktif oksijen türleri (ROS) ve reaktif azot türleri

(RNS), patojenik mantar ve bakterileri etkisiz hale getirerek tohumları sterilize edebilir (Khamsen ve ark., 2016). Bu durum, fide gelişimini ve ürün verimini olumsuz etkileyebilecek hastalıkların önlenmesi açısından büyük önem taşır. Soğuk plazma, tohumların mikrobiyal yükünü azaltarak yalnızca çimlenmeyi desteklemekle kalmaz, aynı zamanda bitki büyümesini ve sağlığını da olumlu yönde etkiler.

Soğuk plazma teknolojisinin çok yönlülüğü, farklı tohum türlerine ve tarımsal koşullara kolaylıkla adapte olabilmelerini sağlar. Araştırmalarda, farklı tohum türlerinin soğuk plazmaya benzersiz tepkiler verdiği ve bu işlemin belirli ürünlere uygun şekilde optimize edilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Namjoo ve ark., 2022). Özellikle buğday ve pirinç gibi ürünler üzerinde yapılan çalışmalar, çimlenme ve büyüme performansında kayda değer artışlar sağlandığını ortaya koymuştur (de Groot ve ark., 2018). Bu tür bulgular, soğuk plazmanın, çevresel stres faktörleri karşısında modern tarımda değerli bir araç olarak kullanılma potansiyelini artırmaktadır.

Kimyasal içermeyen bir tohum işleme yöntemi olarak soğuk plazma, geleneksel kimyasal uygulamalara çevre dostu bir alternatif sunmaktadır (Nalwa ve ark., 2017; Bormashenko ve ark., 2015). Bu teknoloji, hem ürün verimliliğini artırmak hem de çevresel etkileri en aza indirmek amacıyla sürdürülebilir tarım uygulamalarına katkı sağlamaktadır. Tohum çimlenmesini ve bitki büyümesini artırma konusunda etkili olan soğuk plazma, toksik kimyasallara olan ihtiyacı ortadan kaldırarak çevre dostu tarım sistemlerinin geliştirilmesini desteklemektedir.

Ohta (2016)'ya g¼re, soğuk plazma teknolojisinin tohum ¼imlenmesi ¼zerindeki etkileri Şu Şekilde ¼zetlenebilir:

- Tohum y¼zeyindeki mikroorganizmalar etkisiz hale getirilir.
- Tohum kabuğu ¼atlatılarak ¼imlenme kolaylaŐtırılır.
- Tohum i¼inde antioksidan ¼retimi teşvik edilir.
- Bitki hormonları aktif hale getirilir.
- Tohumun su emilimi artırılır.
- Y¼zey ıslanabilirliği geliŐtirilerek hidrofilitiklik sağlanır.

SONUÇ

Soğuk plazma teknolojisi, modern tarımda tohum ¼imlenmesini artırmak ve bitki gelişimini iyileştirmek i¼in ¼evre dostu, etkili ve yenilikçi bir y¼ntem olarak dikkat ¼ekmektedir. Termal olmayan plazmanın kullanıldığı bu teknoloji, tohum y¼zey ¼zelliklerinde değişiklikler yaparak su alımını ve besin emilimini artırmakta, b¼ylece ¼imlenme oranlarını ve bitki gelişimini teşvik etmektedir. Ayrıca, tohum y¼zeyindeki patojenik mikroorganizmaların inaktive edilmesi, ¼imlenme s¼recindeki hastalık risklerini azaltarak tarımsal ¼retimde s¼rd¼r¼lebilirliđi desteklemektedir.

Araştırmalar, soğuk plazmanın sadece ¼imlenme oranlarını artırmakla kalmadığını, aynı zamanda bitki metabolizmasını ve genetik potansiyelini de olumlu y¼nde etkilediğini g¼stermiŐtir. Bu teknoloji, ¼zellikle zorlu ¼evresel koşullarda fidelerin başarılı bir Şekilde yerleşmesi i¼in kritik bir ara¼ sunmaktadır. Tohumların y¼zey ıslanabilirliğini artırarak su ve besin maddesi emilimini kolaylaŐtırması,

bu teknolojiyi kuraklık gibi stres koşullarında bile önemli bir çözüm haline getirmektedir. Ayrıca, bitki hormonlarının aktive edilmesi ve antioksidan üretiminin teşvik edilmesi gibi biyokimyasal etkileri, soğuk plazmanın tarımsal uygulamalardaki rolünü daha da pekiştirmektedir.

Soğuk plazma teknolojisinin en büyük avantajlarından biri, kimyasal içermeyen bir yöntem olmasıdır. Bu, toksik kimyasalların kullanımını azaltarak hem çevresel etkileri en aza indirmekte hem de insan sağlığı açısından daha güvenli bir alternatif sunmaktadır. Soğuk plazmanın tarımsal uygulamalarda kullanılabilirliğinin, farklı ürün türlerine ve tarımsal koşullara kolayca uyarlanabilir olması, bu teknolojiyi iklim değişikliği ve artan çevresel streslerle mücadelede önemli bir araç haline getirmektedir.

Sonuç olarak, soğuk plazma teknolojisi, modern tarımda sürdürülebilir üretimi desteklemek, çevre dostu uygulamaları teşvik etmek ve ürün verimliliğini artırmak adına dönüştürücü bir potansiyele sahiptir. Bu teknolojinin uygulama alanları ve etkilerinin daha iyi anlaşılması için gelecekteki araştırmalar, özellikle farklı tohum türleri üzerindeki etkilerini derinlemesine incelemeli ve tedavi parametrelerini optimize etmeye odaklanmalıdır. Bu çalışmalar, gıda güvenliğinin sağlanması ve sürdürülebilir tarım sistemlerinin geliştirilmesi için soğuk plazma teknolojisinin kullanımını daha da genişletecektir.

KAYNAKÇA

- Arıkan, S., & Karaman, Ş. Strigolaktonlar (2021). Bitkisel Hormonlar Sınıfının Yeni Üyesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 735-746.
- Bormashenko, E., Shapira, Y., Grynyov, R., Whyman, G., Bormashenko, Y., & Drori, E. (2015). Interaction of cold radiofrequency plasma with seeds of beans (phaseolus vulgaris). *Journal of Experimental Botany*, 66(13), 4013-4021.
- Çatav, Ş. S., & Akbaş, K. (2021). Yedi Akdeniz Lamiaceae türünün duman ve duman kökenli bileşiklere olan çimlenme tepkisi. *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 7(4), 478-485.
- Çetinkol, L., & Turgut, A. C. (2023). Biyogaz Sistemlerinden Elde Edilen Sıvı Fermente Gübrenin Tuz Stresi Altındaki Rokanın (Eruca sativa L. cv. Bengi) Çimlenmesine ve Bazı Büyüme Parametrelerine Etkisi. *Türk Bilim ve Mühendislik Dergisi*, 5(1), 29-35.
- de Groot, G. J., Hundt, A., Murphy, A. B., Bange, M. P., & Mai-Prochnow, A. (2018). Cold plasma treatment for cotton seed germination improvement. *Scientific reports*, 8(1), 14372
- Filatova, I., Azharonok, V., Kadyrov, M., Beljavsky, V., Gvozдов, A., Shik, A., & Antonuk, A. (2011). The effect of plasma treatment of seeds of some grain and legumes on their sowing quality and productivity. *Rom. J. Phys*, 56, 139-143.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). The Future of Food and Agriculture: Trends and Challenges [Google Scholar] (FAO, 2017).
- Gökpınar, B., Balkaya, A., & Şahin, G. T. (2021). Capsicum chinense türüne ait biber genotiplerinde sıcaklığın tohum çimlenmesi üzerine etkisi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(özel sayı), 3336-3346.
- Hürkan, Y. K. (2023). Karrikin: dumandan gelen yaşam. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 11(1), 184-196.
- Khamsen, N., Onwimol, D., Teerakawanich, N., Dechanupaprittha, S., Kanokbannakorn, W., Hongesombut, K., ... & Srisonphan, S. (2016). Rice (oryza sativa L.) seed sterilization and germination enhancement via

- atmospheric hybrid nonthermal discharge plasma. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 8(30), 19268-19275.
- Li, L., Li, J., Shao, H., & Dong, Y. (2018). Effects of low-vacuum helium cold plasma treatment on seed germination, plant growth and yield of oilseed rape. *Plasma Science and Technology*, 20(9), 095502.
- Li, L., Li, J., Shen, M., Hou, J., Shao, H., Dong, Y., ... & Jiang, J. (2016). Improving seed germination and peanut yields by cold plasma treatment. *Plasma Science and Technology*, 18(10), 1027-1033.
- Ling, L., Jiangang, L., Minchong, S., Chunlei, Z., & Yuanhua, D. (2015). Cold plasma treatment enhances oilseed rape seed germination under drought stress. *Scientific reports*, 5(1), 1-10.
- Nalwa, C., Thakur, A. K., Vikram, A., Rane, R., & Vaid, A. (2017). Effect of cold plasma treatment and priming in Bell Pepper (*Capsicum annuum* L.). *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, 8(4), 535-538.
- Namjoo, M., Moradi, M., Dibagar, N., Taghvaei, M., & Niakousari, M. (2022). Effect of green technologies of cold plasma and airborne ultrasound wave on the germination and growth indices of cumin (*Cuminum cyminum* L.) seeds. *Journal of Food Process Engineering*, 45(12), e14166.
- Noormohammadi, Z., Mohammadzadeh-Shahir, M., Fahmi, D., Atyabi, S., & Farahani, F. (2019). Induced genetic and morphological changes in *catharanthus roseus* l. by cold atmospheric plasma. *Nova Biologica Reperta*, 6(3), 302-310.
- Ohta, T., 2016. Plasma in Agriculture: Cold Plasma in Food and Agriculture: Fundamentals and Applications, Ed: Misra, N.N., Schlüter, O.K., Cullen, P.J., Academic Press, Elsevier, London, United Kingdom, pp: 205-218.
- Okay, F. A. T. M. A., & Gunoz, A. (2009). The Effects of Some Applications on Seed Germination of Endemic *Centaurea tchihatcheffii* Fisch et Mey. in Golbasi Province. *JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCES-TARIM BİLİMLERİ DERGİSİ*, 15(2).

- Sivachandiran, L. & Khacef, A. Enhanced seed germination and plant growth by atmospheric pressure cold air plasma: Combined effect of seed and water treatment. *RSC Adv.* 7, 1822–1832 (2017).
- Terzi, H., Yıldız, M., & Altuğ, Ü. (2017). Halofit *Salsola crassa*'nın Tohum Çimlenmesi Üzerine Tuzluluk, Sıcaklık ve Işığın Etkileri. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve M¼hendislik Bilimleri Dergisi*, 17(1), 1-9.
- Thirumdas, R., Kothakota, A., Kiran, K. C. S. S., Pandiselvam, R., & Prakash, V. (2017). Exploitation of cold plasma technology in agriculture. *Advances in Research*, 12(4), 1-7.
- Wei, S., Zhao, L., Liu, Z., Zhang, X., Hui, Y., Wang, D., ... & Liu, G. (2023). Cold plasma treatment for *Astragalus membranaceus* seed germination and seedling growth improvement. *Legume Research-An International Journal*, 46(5), 609-615.

BÖLÜM 9

KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ÜZÜM YETİŞTİRİCİLİĞİNE ETKİLERİNE KAPSAMLI BİR BAKIŞ

Doç. Dr. Emrah GÜLER^{1*}

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14542995>

^{1*} Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Bolu, Türkiye. *emrahguler@ibu.edu.tr

GİRİŞ

K¼resel İklim Değişikliği Nedir?

K¼resel iklim değişikliği, D¼nya'nın sıcaklık, yağış d¼zenleri ve atmosfer koşullarında meydana gelen önemli ve kalıcı değişiklikleri ifade eder. Bu olgu, hem doğal s¼reçleri hem de insan kaynaklı faktörleri kapsamakla birlikte, öncelikli olarak fosil yakıtların yakılması, ormansızlaşma ve end¼striyel faaliyetler gibi insan etkinlikleri sonucunda atmosferdeki sera gazlarının (ASG) artışından kaynaklanmaktadır. H¼k¼metler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), 20. y¼zyılın ortalarından itibaren k¼resel ortalama sıcaklıklardaki artışın b¼y¼k ölç¼de insan faaliyetlerine, özellikle karbondioksit (CO₂), metan (CH₄) ve nitröz oksit (N₂O) gibi sera gazlarının emisyonlarına atfedebileceğini belirtmiştir (Shi ve ark., 2010; Zhong, 2016).

İklim değişikliğinin sonuçları derin ve çok boyutludur; ekosistemler, hava d¼zenleri ve insan toplulukları üzerinde ciddi etkiler yaratmaktadır. Artan k¼resel sıcaklıklar, sıcak hava dalgaları, fırtınalar ve seller gibi aşırı hava olaylarının sıklığı ve şiddetindeki artışla ilişkilendirilmiş olup, bu durum gıda g¼venliđi ve halk sağlığı açısından ciddi riskler oluşurmaktadır (Sunyer, 2010; Hedlund ve ark., 2022). Ayrıca, iklim değişikliği, özellikle uyum kapasitelerinin sınırlı olduğu gelişmekte olan ülkelerde mevcut kırılganlıkları daha da derinleştirmektedir (Kpr¼l¼ ve ark., 2023; Eghweree ve Imuetinyan, 2019). Değişen iklim koşulları, biyolojik çeşitlilik kaybı ve t¼rlerin dağılımındaki değişiklikler gibi ekolojik etkilerle de kendini göstermektedir (Loyola ve ark., 2013; Nori ve ark., 2015).

İklim değişikliğinin ekonomik etkileri de oldukça önemlidir. İklimle bağlantılı felaketlerin artan sıklığı, tarımsal üretimi ve ticareti aksatarak gıda kıtlığına ve ekonomik istikrarsızlığa yol açabilir (Hedlund ve ark., 2022). Tarımsal sistemlerin iklim değişikliğine karşı hassasiyeti, özellikle bu değişimlerden olumsuz etkilenen bölgelerde çiftçiliğin ekonomik sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir (Yamaura ve ark., 2017). Bu bağlamda, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltırken ekonomik kalkınmayı sürdürülebilir uygulamalarla dengelemek büyük bir zorluk olarak karşımıza çıkmaktadır (Stela ve Sajin, 2022; Hu, 2022).

Sonuç olarak, küresel iklim değişikliği hem doğal hem de insan kaynaklı faktörlerin etkisiyle şekillenen karmaşık bir olgudur ve çevre, insan sağlığı ve ekonomik istikrar üzerinde geniş kapsamlı etkiler yaratmaktadır. Bu zorluğun üstesinden gelmek, sera gazı emisyonlarını azaltmak ve mevcut değişimlere uyum sağlamak için koordineli bir küresel çaba gerektirmektedir (Jurt ve ark., 2015).

Tarımsal Üretim Üzerindeki Genel Etkileri

Küresel iklim değişikliğinin tarımsal üretim üzerinde derin etkileri bulunmaktadır ve bu durum ürün verimini, gıda güvenliğini ve çiftçilik sistemlerinin genel sürdürülebilirliğini ciddi şekilde etkilemektedir. Araştırmacılar arasında genel bir fikir birliği, artan sıcaklıkların, değişen yağış düzenlerinin ve aşırı hava olaylarının sıklığındaki artışın tarımsal çıktılar üzerinde kritik bir rol oynadığı yönündedir.

İklim değişikliğinin tarım üzerindeki en önemli etkilerinden biri, ürün verimindeki değişikliklerdir. Yapılan alışmalar, küresel sıcaklıklarda meydana gelen mütevazı bir artışın bile ürün üretiminde ciddi düşüşlere yol açabileceğini ortaya koymaktadır. Örneğin, sıcaklıkta 1°C'lik bir artışın küresel mısır üretiminde %10 ila %20 oranında bir düşüşe neden olabileceği tahmin edilmekte ve bu durum temel tarım ürünlerinin iklim değişikliklerine karşı ne kadar kırılgan olduğunu göstermektedir (Tito ve ark., 2017). Bunun yanı sıra, yağıştaki değişkenliğin artması beklenmektedir. Projeksiyonlar, her bir santigrat derecelik ısınma için yağış değişkenliğinde %4 ila %5 oranında bir artış olacağını öngörmektedir. Bu durum, özellikle Etiyopya gibi bölgelerde çiftçilerin karşılaştığı zorlukları daha da artırabilir (Thomas ve ark., 2020). Yağıştaki bu değişkenlik, tarımsal üretkenliği önemli ölçüde sekteye uğratan kuraklık ve sel gibi aşırı hava olaylarına yol açabilmektedir (Worku, 2023).

İklim değişikliğinin etkileri, bölgeler arasında tekdüze değildir; yerel iklim koşullarına ve tarımsal uygulamalara bağlı olarak farklılık göstermektedir. Örneğin, Kuzeydoğu Çin'e odaklanan bir çalışma, mahsullerin fenolojisinin (büyüme aşamalarının) temel iklim faktörleriyle yakından bağlantılı olduğunu ortaya koymuş ve bu durum, uyum stratejilerinin olumsuz etkileri azaltmak için yerel etkileşimleri dikkate alması gerektiğini göstermiştir (Xiao ve ark., 2021). Benzer şekilde, Mississippi'de yapılan araştırmalar, iklim değişikliğinin mahsul verimleri üzerindeki etkilerinin sulanan ve sulanmayan bölgeler arasında farklılık gösterdiğini ortaya koymuş ve bu dinamiklerin daha

iyi anlaşılabilmesi için bölgeye özgü modellemelere ihtiyaç olduğunu vurgulamıştır (Shammi ve Meng, 2021).

Bunun yanı sıra, iklim kaynaklı tarımsal üretkenlikteki değişikliklerin sosyo-ekonomik etkileri de oldukça önemlidir. Mahsul verimlerinin azalması, özellikle tarım sistemlerinin zaten stres altında olduğu gelişmekte olan bölgelerde gıda güvenliğini tehlikeye atmaktadır. Tarımın diğer ekonomik sektörlerle olan iç içe geçmiş yapısı, mahsul üretimi üzerindeki olumsuz etkilerin ekonomiye yayılarak gıda fiyatlarını ve erişimi etkileyebileceği anlamına gelmektedir (Huang ve ark., 2020). Azalan tarımsal çıktılar nedeniyle artan yoksulluk riski de dikkat çekmektedir. İklim kaynaklı verim değişikliklerinin mevcut eşitsizlikleri daha da kötüleştirebileceği tahmin edilmektedir (Hertel ve ark., 2010).

Bu bağlamda, uyum stratejileri, iklim değişikliğinin getirdiği zorlukların ele alınmasında hayati bir öneme sahiptir. İklim değişikliği bilgilerinin tarımsal uygulamalara entegre edilmesi, gıda güvenliğini ve dayanıklılığı artırabilir. Özellikle kurak bölgelerdeki paydaşlar, mahsul üretim sistemlerini iyileştirmek için iklim değişkenliğini dikkate alan uygulamaları benimsemeye teşvik edilmektedir (Ketiemi ve ark., 2017). Ayrıca, iklim değişikliği ile tarımsal uygulamalar arasındaki etkileşimlerin anlaşılması, etkili uyum stratejilerinin geliştirilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir (Xiao ve ark., 2021).

Üzümün Ekonomik ve Kültürel Önemi

Üzümler, yalnızca önemli bir tarımsal ürün olmakla kalmayıp, aynı zamanda çeşitli medeniyetler arasında hayati bir kültürel sembol olarak da öne çıkmaktadır. Ekonomik açıdan, özellikle şarap ve taze üzüm üretimi ile ticareti sayesinde büyük bir öneme sahiptir. Küresel ölçekte, üzümler en çok yetiştirilen ürünler arasında yer almakta ve şarap, yaklaşık 10,6 milyon tonluk ihracat hacmiyle başlıca ihraç ürünü olarak öne çıkmaktadır. Şarabı, 4,8 milyon tonluk ihracatla taze üzümler takip etmektedir (Ünal ve ark., 2023). Sofralık üzümlerin uluslararası ticareti, sezon dışı taze ürünlere olan talebin yönlendirdiği dikkate değer bir büyüme göstermiştir ve bu durum, üzüm üretiminin ekonomik yapısını yeniden şekillendirmiştir (Seccia ve ark., 2015). Bu ticaretin genişlemesi, özellikle gelişmekte olan ülkelere yapılan üzüm ihracatının rekabet gücünü artıran gelişmekte olan pazarlar ve GlobalGAP gibi standartların uygulanmasıyla kolaylaştırılmıştır (Fiankor ve ark., 2019).

Kültürel açıdan, üzümler ve bunlardan elde edilen ürünler, özellikle şarap, insanlık tarihinde önemli bir rol oynamıştır. Yabani üzüm asmalarının evcilleştirilmesi, özellikle Akdeniz çevresinde, eski uygarlıklarda sosyal ve dini uygulamaların ayrılmaz bir parçası haline gelen bağcılığın başlangıcını işaret etmiştir (Harutyunyan ve Malfeito-Ferreira, 2022). Örneğin, Fenikeliler Akdeniz genelinde bağcılık ve şarap yapım tekniklerinin yayılmasında etkili olmuş ve şarabın kültürel önemini vurgulayan ticaret ağları kurmuşlardır (Chami ve Moujabber, 2014; Moricca ve ark., 2021). Üzüm yetiştiriciliğinin tarihsel bağlamı,

şarabın eski çağlardan beri sosyal yaşamın önemli bir parçası olduğu Lübnan gibi bölgelerde görüldüğü üzere, kültürel kimlik ve mirasla olan köklü bağlantılarını ortaya koymaktadır (Chami ve Moujabber, 2014).

Bunun yanı sıra, üzüm çeşitlerinin genetik çeşitliliği, bağcılığın hem ekonomik hem de kültürel yönleri açısından büyük bir öneme sahiptir. Yapılan çalışmalar, üzüm çeşitleri arasındaki fenotipik çeşitliliğin, hem şarap yapımını hem de sofralık üzüm üretimini etkileyen önemli bir faktör olduğunu göstermektedir (Migicovsky ve ark., 2017). Bu çeşitlilik, üzüm yetiştiriciliğinin farklı iklimlere ve pazarlara uyum sağlamasını desteklemekle kalmayıp, aynı zamanda farklı bölgelerin yerel miraslarını yansıtan benzersiz şarap stilleri ve üzüm çeşitlerinin geliştirilmesiyle, üzüm ürünleriyle ilişkili kültürel dokuyu da zenginleştirmektedir (Lungo, 2017; Cohen ve ark., 2023).

1. ÜZÜM YETİŞTİRİCİLİĞİ VE İKLİMSEL FAKTÖRLER

1.1. Üzüm Yetiştiriciliğinde İklimin Rolü

Üzüm yetiştiriciliğinde iklimin rolü oldukça çok yönlüdür ve sıcaklık, yağış, don riski gibi çevresel faktörlerin yanı sıra asma gelişimi ve üzüm kalitesini etkileyen diğer unsurları da kapsamaktadır. Bu iklimsel etkileri anlamak, özellikle geleneksel yetiştirme koşullarını değiştiren iklim değişikliği bağlamında bağcılık açısından büyük önem taşımaktadır.

Sıcaklık, üzüm büyümesini ve kalitesini etkileyen birincil faktörlerden biridir. Asmalar, optimum büyüme için genellikle büyüme mevsimi boyunca 12°C ile 22°C arasında belirli sıcaklık aralıklarına ihtiyaç duyar (Cherviak, 2023). Daha yüksek sıcaklıklar, fenolojik aşamaları hızlandırarak daha erken tomurcuklanma ve hasat zamanlarına yol açabilir. Bu durum bazı bölgelerde avantaj sağlasa da, aşırı şeker birikimi ve üzümlerde asitliğin azalması gibi olumsuz sonuçlara neden olarak şarap kalitesini düşürebilir (Blanco-Ward ve ark., 2019; Schultz, 2016). Çalışmalar, daha sıcak sıcaklıkların üzümlerde asitliği azaltırken şeker içeriğini artırdığını ve bunun da şaraptaki tat dengesini değiştirdiğini göstermektedir (Blanco-Ward ve ark., 2019; Orduña, 2010). Ayrıca, şarap kalitesi için kritik öneme sahip fenolik bileşiklerin birikimi, büyüme mevsimi boyunca sıcaklık değişimleriyle yakından ilişkilidir (Xu ve ark., 2011).

Yağış desenleri de üzüm yetiştiriciliğinde kritik bir rol oynamaktadır. Yeterli yağış, asma sağlığı açısından önemlidir; su bulunabilirliği ve toprak nemi üzerinde etkili olarak üzüm bileşimini ve kalitesini doğrudan şekillendirir (Yan ve ark., 2022; Porrás ve ark., 2021). Ancak aşırı yağış, üzüm tatlarının seyrelmesine ve hastalık baskısının artmasına yol açarken, yetersiz yağış asmaları strese sokarak verimin azalmasına ve meyve kalitesinin düşmesine neden olabilir (Li ve ark., 2019). Sıcaklık ve yağış arasındaki etkileşim ise özellikle önemlidir, çünkü bu faktörler birlikte bir bölgenin üzüm yetiştirmeye uygunluğunu belirleyebilir (Malheiro ve ark., 2010).

Don riski, üzüm yetiştiricileri için bir diğer önemli iklimsel endişe kaynağıdır. İlkbaharın sonlarındaki donlar genç tomurcuklara zarar verebilirken, sonbaharın başlarındaki donlar olgunlaşma sürecini etkileyerek eksik şeker gelişimine ve düşük meyve kalitesine yol açabilir (Mosedale ve ark., 2015; Hewer ve Brunette, 2020). Değişen iklim, don modellerini de değiştirmekte ve bazı bölgelerde don riskini azaltarak büyüme sezonunu uzatabilmektedir. Ancak bu durum, sezon sonu hava olaylarına karşı artan bir hassasiyeti de beraberinde getirebilir (Schultze ve ark., 2016). Bu dinamiklerin anlaşılması, bağ yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi ve değişen don modellerine dayanıklı üzüm çeşitlerinin seçilmesi açısından kritik öneme sahiptir (Hewer ve Brunette, 2020).

Bunun yanı sıra, iklim, toprak ve topografya gibi bir bağ alanının benzersiz çevresel koşullarını kapsayan "terroir" kavramı, üzüm kalitesi açısından hayati bir öneme sahiptir (Li ve ark., 2019). Farklı üzüm çeşitleri, iklim koşullarına karşı farklı hassasiyetler sergilemekte ve bu durum, yerel iklim gerçeklerini dikkate alan nüanslı bir bağ yönetimi yaklaşımını gerektirmektedir (Schultze ve ark., 2016). Bazı üzüm çeşitleri daha sıcak iklimlerde gelişebilirken, diğerleri daha soğuk koşullara daha uygun olabilmektedir. Bu da bölgesel iklime göre uygun çeşitlerin seçilmesinin önemini vurgulamaktadır (Schultz, 2016; Orduña, 2010).

Bu bilgiler ışığında, sıcaklık, yağış ve don riski gibi iklim faktörlerinin etkileşimi, üzüm yetiştiriciliğinde belirleyici bir rol oynamaktadır. İklim değişikliği bu değişkenleri etkilemeye devam ettikçe, bağcıların

uygulamalarını uyarlamaları ve sürdürülebilir üzüm ve şarap üretimini sağlamak için değişen iklim koşullarına dayanabilecek üzüm çeşitlerini seçmeleri zorunlu hale gelmektedir.

1.2. Üzüm Türlerinin ve Çeşitlerinin İklim Duyarlılığı

Üzüm türlerinin ve çeşitlerinin iklim değişikliğine duyarlılığı, özellikle küresel ısınmanın bağcılık uygulamalarını ve üzüm kalitesini etkilemeye devam etmesiyle birlikte, kritik bir araştırma alanı olarak öne çıkmaktadır. Çeşitli çalışmalar, farklı üzüm çeşitlerinin iklim değişikliklerine nasıl tepki verdiğini ortaya koymuş ve sürdürülebilir şarap üretimi için bu dinamiklerin anlaşılmasının önemini vurgulamıştır.

Asmalar, özellikle *Vitis vinifera*, büyüme, fenoloji ve meyve kalitesi açısından iklim koşullarına karşı yüksek bir duyarlılık sergilemektedir. Schultze ve ark. (2016), Michigan'da ısınma eğilimlerinin hem *V. vinifera* hem de *V. labrusca* türlerinde daha erken tomurcuklanmaya ve sonbahar don olaylarının daha geç gerçekleşmesine yol açtığını, bunun da daha uzun bir büyüme mevsimiyle sonuçlandığını belirtmiştir. Bu durum, iklim değişikliğinin ılıman bölgelerde üzüm asması üretimini desteklediğini ve üzüm çeşitlerinin coğrafi dağılımını değiştirdiğini savunan Koch ve Oehl (2018) tarafından da desteklenmektedir. Ancak bu değişim, aynı zamanda yeni zararlılar ve hastalıkların ortaya çıkma riskini de beraberinde getirmektedir. Ayrıca, Jovanović-Cvetković ve ark. (2023) tarafından yapılan bir çalışma, iklimsel faktörlerin Blatina

gibi yerel üzüm çeşitlerinin fiziko-kimyasal özelliklerini farklı bölgelerde önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymuştur.

İklimin üzüm meyvesinin bileşimi üzerindeki etkisi de kapsamlı bir şekilde belgelenmiştir. Barnuud ve ark. (2013), antosiyanin seviyeleri ve asitlik gibi meyve özelliklerinin iklim değişikliklerine duyarlı olduğunu ve bu etkilerin Batı Avustralya'da bölgesel ölçekte değerlendirildiğini belirtmiştir. Benzer şekilde, Xu ve ark. (2011), iklim koşullarının üzüm meyvelerinin fenolik bileşiklerini ve antioksidan özelliklerini önemli ölçüde etkilediğini vurgulamıştır. Bu durum, şarap kalitesi için kritik öneme sahip fenolik bileşiklerin birikiminin mevsimsel iklim değişikliklerinden etkilenebilmesi nedeniyle büyük bir önem taşımaktadır (Zhu ve ark., 2017).

Bunun yanı sıra, üzüm çeşitlerinin değişen iklimlere uyum sağlayabilme yeteneği, bağcılar için önemli bir husus olarak öne çıkmaktadır. Savina (2023), şarap üreticilerinin giderek daha fazla yeni yetiştirme yöntemleri benimsediğini ve iklim değişikliğiyle başa çıkmak için dayanıklı üzüm çeşitlerini tercih ettiğini belirtmiştir. Bu uyum sağlama yeteneği, yüksek kaliteli üzüm üretimi için belirli iklim koşullarının gerekli olduğu Çin'in Ningxia gibi bölgelerinde özellikle belirgindir (Li ve ark., 2019). İklim, toprak ve üzüm çeşidi etkileşimlerini kapsayan “terroir” kavramı, üzüm kalitesini belirlemede temel bir rol oynamakta ve iklim koşulları değiştikçe önemi giderek artmaktadır (Li ve ark., 2019).

Bu faktörlere ek olarak, üzüm çeşitlerinin coğrafi dağılımı da iklim değişikliğinden etkilenmektedir. Malheiro ve ark. (2010), iklim değişkenliğinin üzüm verimini ve kalitesini etkileyen temel bir faktör olduğunu ve bu değişikliklere uyum sağlamak için etkili bağcılık bölgelerine ihtiyaç duyulduğunu vurgulamıştır. Bu durum, birinci sınıf şarap üretiminin, iklim değişikliğinden giderek daha fazla tehdit altında olan Akdeniz benzeri iklimlerle yakından bağlantılı olduğunu belirten Porras ve ark. (2021) tarafından da desteklenmektedir.

2. KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ÜZÜMLERDE VERİMLİLİĞE ETKİSİ

2.1. Sıcaklık Artışının Etkileri: Erken Olgunlaşma, Meyve Kalitesi Kaybı

Artan sıcaklıkların üzüm asmaları üzerindeki etkileri oldukça çok yönlüdür ve hem olgunlaşma zamanlamasını hem de meyve kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Küresel sıcaklıkların artışıyla birlikte, üzüm asmaları hızlandırılmış fenolojik değişiklikler yaşamakta ve bu durum üzümlerin daha erken olgunlaşmasına yol açmaktadır. Bu fenomen, özellikle ben düşme ve hasat tarihlerini öne çekebilen ve genel büyüme sezonunu kısaltabilen daha yüksek hava sıcaklıklarından kaynaklanmaktadır (Antolín ve ark., 2022; Blanco-Ward ve ark., 2019). Fenolojideki bu tür değişimler, olgunlaşma zamanlamasının meyvelerde istenen bileşiklerin birikimi için kritik öneme sahip olması nedeniyle, üzüm kalitesi üzerinde derin etkiler yaratabilir.

Artan sıcaklıklar, üzüm tanelerinde bir dizi biyokimyasal değişikliğe neden olmaktadır. Örneğin, yüksek sıcaklıklar genellikle artan

fotosentetik aktivite nedeniyle daha yüksek şeker konsantrasyonlarına yol açarken, aynı zamanda organik asit seviyelerini azaltmaktadır (Karastergiou ve ark., 2023; Drappier ve ark., 2017). Bu dengesizlik, yüksek kaliteli şarap üretiminde şeker ve asitlerin ideal dengesi esas olduğundan, şarapların duyuşal profilini olumsuz etkileyebilir. Ayrıca, aşırı sıcaklıklar üzüm asmalarında stres tepkilerini tetikleyerek, fenolik bileşiklerin birikimine neden olabilir. Bu durum, ılımlı düzeyde faydalı olabilse de, şarapların beklenen lezzet profillerini değiştirebilir (Strack ve Stoll, 2021; Teixeira ve ark., 2013).

Sıcaklığın üzüm kalitesi üzerindeki etkisi, farklı üzüm çeşitleri arasında tekdüze değildir. Bazı çeşitler ısı stresine karşı daha dayanıklı bir yapı sergilerken, diğerleri benzer koşullar altında önemli kalite kayıpları yaşayabilmektedir (Goicoechea ve ark., 2021; Antolín ve ark., 2020). Üzüm asması türlerindeki genetik çeşitlilik, iklim değişikliğinin getirdiği zorluklara dayanabilecek çeşitler geliştirmeyi amaçlayan ıslah programları için önemli fırsatlar sunmaktadır (Bigard ve ark., 2018). Özellikle eski üzüm çeşitlerinin, ısıya ve kuraklığa dayanıklılık sağlayan özelliklere sahip olabilmeleri nedeniyle, değişen iklim koşullarında kaliteyi koruma açısından potansiyel olarak değerli oldukları belirlenmiştir (Antolín ve ark., 2020; Biasi ve ark., 2019).

2.2. Su Stresi: Yağış Rejimlerindeki Değişiklikler ve Sulama İhtiyaçları

İklim değişikliği, dünya genelinde üzüm yetiştiriciliği üzerinde önemli etkiler yaratmaktadır (Savina, 2023; Venios ve ark., 2020; Leeuwen ve ark., 2019; Leeuwen ve Darriet, 2016; Colibaba, 2023). Bu etkiler

arasında, tomurcukların daha erken açılması, çiçeklenme ve veraison gibi üzüm asması fenolojisindeki değişiklikler ile üzümlerin daha hızlı olgunlaşması yer almaktadır (Venios ve ark., 2020; Sancho-Galán ve ark., 2021; Lanari ve ark., 2022; Lanari ve ark., 2019). Bu fenolojik değişimler, küresel ısınmayla ilişkili artan sıcaklıklar tarafından yönlendirilmektedir (Venios ve ark., 2020; Leeuwen ve ark., 2019; Colibaba, 2023).

Yağış desenlerindeki ve su bulunabilirliğindeki değişiklikler de bağcılık açısından önemli endişeler arasında yer almaktadır (Lee ve ark., 2013; Silvestroni ve ark., 2020; Pérez-Álvarez ve ark., 2021). İklim değişikliği, birçok üzüm yetiştirme bölgesinde yağış miktarının azalmasına ve su kıtlığının artmasına yol açmaktadır (Lee ve ark., 2013; Silvestroni ve ark., 2020; Pérez-Álvarez ve ark., 2021). Bu durum, asma sağlığını ve üzüm kalitesini korumak için daha yoğun sulama ihtiyacını beraberinde getirmiştir (Lee ve ark., 2013; Silvestroni ve ark., 2020; Pérez-Álvarez ve ark., 2021). Ancak artan sulama talebi, su kaynaklarının korunması hedefleriyle çelişmekte ve tatlı su kaynakları üzerinde baskı oluşturmaktadır (Lee ve ark., 2013).

Üzüm yetiştiricileri ve araştırmacılar, bu iklimle ilgili zorlukları ele almak için çeşitli adaptasyon stratejileri geliştirmektedir (Lee ve ark., 2013; Savina, 2023; Leeuwen ve ark., 2019; Suresh, 2024). Bu stratejiler arasında, yetersiz sulama tekniklerinin uygulanması, kuraklığa daha dayanıklı üzüm çeşitlerinin seçilmesi ve değişen iklim koşullarına uyum sağlamak için gecikmiş budama gibi bağ yönetimi

uygulamalarında değişiklikler yer almaktadır (Silvestroni ve ark., 2020; Pérez-Álvarez ve ark., 2021; Lanari ve ark., 2014).

Genel olarak, yapılan araştırmalar, iklim değişikliğinin üzüm yetiştiriciliği üzerindeki etkilerini, özellikle su stresi, yağış düzenlerindeki değişiklikler ve sulama ihtiyaçları bağlamında vurgulamaktadır. Değişen iklim koşulları karşısında bağcılık sektörünün sürdürülebilirliğini sağlamak için bu değişikliklere uyum sağlamak büyük önem taşımaktadır (Lee ve ark., 2013; Savina, 2023; Leeuwen ve ark., 2019; Suresh, 2024).

2.3. Aşırı Hava Olaylarının (Don, Dolu, Sıcak Hava Dalgaları) Üzüm Bağlarına Etkisi

Don, dolu ve sıcak hava dalgaları gibi aşırı hava olayları, bağcılık ve üzüm üretimi üzerinde önemli etkiler yaratmaktadır. Bu olaylar, ciddi ekonomik kayıplara yol açmanın yanı sıra üretilen şarabın kalitesini de olumsuz etkileyebilir. Özellikle ilkbahar sonu donları, bağlar için büyük bir risk oluşturmaktadır. İklim değişikliğiyle birlikte daha yaygın hale gelen sıcak hava dalgaları, erken tomurcuklanmaya neden olarak genç tomurcuklara ve sürgünlere zarar verebilmektedir. Çalışmalar, don olaylarının verimde ciddi azalmalar yaratabileceğini göstermektedir. Örneğin, don olaylarından sonra ikincil tomurcuk büyümesinin, birincil tomurcuk veriminin yalnızca %10 ila %70'ini sağlayabildiği rapor edilmiştir (Montague ve ark., 2020; Molitor ve ark., 2013). Ayrıca, iklim değişkenliği nedeniyle don riski daha da artmakta ve üzüm yetiştiriciliğini zorlaştıran öngörülemeyen hava modellerine yol açmaktadır (Nemoto ve ark., 2016; Schultze ve ark.,

2016). Michigan gibi bölgelerde, ısınma eğilimleri daha erken tomurcuklanmaya neden olarak bağların don hasarına karşı hassasiyetini artırmıştır (Schultze ve Sabbatini, 2022; Cogato ve ark., 2019).

Dolu, üzüm asmalarına anında ve ciddi hasar verebilen bir diğer aşırı hava olayıdır. Dolu fırtınaları, yaprakların ve meyvelerin fiziksel olarak tahrip olmasına yol açarak yalnızca verimi düşürmekle kalmaz, aynı zamanda kalan üzümlerin kalitesini de olumsuz etkileyebilir. Dolu hasarının ekonomik etkileri oldukça büyüktür; yetiştiriciler, hasat kayıpları ve kurtarma çabalarıyla ilişkili artan maliyetlerle karşı karşıya kalmaktadır (Porras ve ark., 2021).

Sıcak hava dalgaları da bağcılık için kritik bir zorluk teşkil etmektedir. Aşırı sıcaklıklar, üzüm asmalarında ısı stresine yol açarak fotosentezi ve dolayısıyla üzümlerin kalitesini olumsuz etkileyebilir. Yüksek sıcaklıklar, olgunlaşma sürecini hızlandırarak şarap kalitesi için önemli olan şeker ve asit seviyelerinde dengesizliklere neden olabilir (Firth ve ark., 2017; Gupta ve ark., 2021). Ayrıca, sıcaklıktaki yıllık değişkenlik, farklı üzüm çeşitlerinin sıcaklık değişimlerine farklı tepkiler vermesi nedeniyle hasat zamanlamasını karmaşıklaştırabilir (Pickering ve ark., 2015; Lombard ve ark., 2013).

Bu aşırı hava olaylarının kümülatif etkileri, bağ yönetimi için uyarlanabilir stratejilerin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Üreticiler, don hasarını azaltmak için geç sezon sulama gibi uygulamaları benimsemeye ve sıcağa ve dona daha dayanıklı üzüm

çeşitlerini seçmeye teşvik edilmektedir (Yadollahi, 2011; Jobin-Poirier ve ark., 2020). Ayrıca, üzüm üretimi için iklimsel uygunluğun anlaşılması, değişen iklim koşulları nedeniyle bazı bölgelerin geleneksel üzüm çeşitleri için daha az uygun hale gelebileceği gerçeği göz önünde bulundurularak, uzun vadeli planlama açısından büyük önem taşımaktadır (Schultze ve ark., 2016; Jobin-Poirier ve ark., 2020).

2.4. Hastalık ve Zararlıların Artışı

Küresel iklim değişikliğinin, özellikle bağcılıkta hastalık ve zararlıların artışına olan etkisi, araştırmacılar ve tarım uygulayıcıları arasında giderek artan bir endişe kaynağıdır. İklim değişikliği, artan sıcaklıklar, değişen yağış düzenleri ve yükselen atmosferik CO₂ seviyeleri ile karakterize edilmekte ve bu faktörlerin tümü tarımsal ekosistemler üzerinde önemli etkiler yaratmaktadır. Bu değişiklikler, zararlıların ve hastalıkların yaygınlığını artırarak üzüm bağları gibi tarımsal ürünlerin veriminde ciddi kayıplara yol açabilir.

Araştırmalar, daha sıcak sıcaklıkların, iklim koşullarına duyarlı zararlıların ve hastalıkların gelişme oranlarını artırabileceğini göstermektedir. Birçok tarımsal zararlı ve mantar patojeni gibi ektotermik organizmalar, daha sıcak iklimlerde daha hızlı gelişmekte ve bu durum zararlı popülasyonlarının artmasına ve hastalık salgınlarnın yayılmasına neden olabilmektedir (Taylor ve ark., 2021). Bu durum, özellikle üzüm bağları için büyük bir tehdit oluşturan üzüm güvesi gibi zararlıların ve külleme gibi hastalıkların yayılmasını kolaylaştırabilir (Lee ve ark., 2013). Bois ve ark. (2017) tarafından

yapılan bir çalışma, iklim değişikliğinin üzüm asması zararlıları ve hastalıklarının görülme sıklığında önemli bir artışa yol açabileceğini ve bu durumun daha yoğun yönetim stratejileri gerektirebileceğini vurgulamaktadır.

Bunun yanı sıra, zararlıların coğrafi dağılımının da iklim değişikliği nedeniyle değişmesi beklenmektedir. Daha önce düşük sıcaklıklarla sınırlı olan zararlılar, uygun yaşam alanlarının kuzeye doğru genişlemesiyle yeni bölgeleri istila edebilir ve üzüm üretimi için ek riskler oluşturabilir (Ziska, 2014). Bu durum yalnızca bağcılıkla sınırlı kalmayıp, diğer tarım sektörlerinde de gözlemlenmektedir. Örneğin, tarımsal böcek zararlıları üzerine yapılan bir çalışma, iklim değişikliğinin kışlama döneminde hayatta kalma oranlarını artırdığını ve mevsim başına daha fazla nesil üretilmesine yol açabileceğini, bunun da zararlı baskısını daha da artırdığını ortaya koymuştur (Skendžić ve ark., 2021).

İklim değişikliği ve zararlı yönetimi arasındaki etkileşim oldukça karmaşıktır. Bazı çalışmalar, iklim değişikliğinin zararlıların verdiği zararı doğrudan artırmayabileceğini öne sürse de, zararlı yönetimi stratejileri açısından yeni zorluklar yaratmaktadır (Zhao ve ark., 2016). Seidl ve ark. (2018) tarafından yapılan bir araştırma, istilacı zararlıların ormanlardaki karbon döngülerini önemli ölçüde bozabileceğini vurgulamış ve benzer dinamiklerin üzüm bağları gibi tarımsal ortamlarda da meydana gelebileceğini göstermiştir. Ayrıca, kuraklık ve sel gibi aşırı hava olaylarının artan sıklığı, zararlı dinamiklerini

değiştirebilir, öngörülemeyen salgınlara yol açabilir ve yönetim çabalarını daha karmaşık hale getirebilir (Harvey ve ark., 2014).

3. COĞRAFİ VE BÖLGESEL ETKİLER

3.1. Geleneksel Üzüm Bölgelerinde Görülen Değişiklikler

Küresel iklim değişikliği, geleneksel üzüm yetiştirme bölgelerini önemli ölçüde etkileyerek bağıcılık uygulamalarında, üzüm kalitesinde ve bağların coğrafi dağılımında değişikliklere yol açmaktadır. Yükselen sıcaklıklar, değişen yağış düzenleri ve artan iklim değişkenliğinin etkileşimi, dünya genelindeki üzüm yetiştiricileri için hem zorluklar hem de fırsatlar yaratmaktadır.

İklim değişikliğinin en belirgin etkilerinden biri, çiçeklenme ve olgunlaşma gibi gelişim aşamalarının zamanlamasını ifade eden asma fenolojisindeki değişimlerdir. Çalışmalar, daha sıcak sıcaklıkların asmaların fenolojik döngülerini hızlandırma olasılığının yüksek olduğunu ve bunun daha erken hasat tarihleriyle sonuçlandığını göstermektedir. Araştırmalar, Kaliforniya gibi bölgelerde üzüm olgunlaşmasının 2100 yılına kadar bir ila iki ay daha erken gerçekleşebileceğini ve uygun şekilde yönetilmediği takdirde üzümlerin şeker, asitlik ve lezzet profillerinde dengesizliklere yol açabileceğini öngörmektedir (Rayne ve ark., 2011; Biasi ve ark., 2019). Bu fenolojik değişimler yalnızca Kaliforniya ile sınırlı değildir; Kanada'nın Okanagan Vadisi gibi farklı bölgelerde de benzer eğilimlerin beklendiği gözlemlenmiştir (Rayne ve ark., 2011).

Bunun yanı sıra, uygun üzüm yetiştirme alanlarının coğrafi dağılımı da değişmektedir. Sıcaklıkların artmasıyla birlikte, Güney Avrupa'daki geleneksel şarap bölgeleri üzüm yetiştirmek için daha az uygun hale gelirken, daha önce uygun olmayan kuzey bölgeleri daha elverişli hale gelmektedir. Örneğin, İngiltere'deki üzüm bağları, bu iklim değişiklikleri nedeniyle yüzey alanında artış göstermiştir (Bonnetoy ve ark., 2012). Bağcılıktaki bu enlemsel değişim, yüksek sera gazı konsantrasyonu senaryoları altında, 2050 yılına kadar büyük şarap üretim bölgelerinde üzüm yetiştirmeye uygun alanların %25 ila %73 oranında azalabileceğini gösteren projeksiyonlarla desteklenmektedir (Lee ve ark., 2013).

İklim değişikliğinin etkileri, fenoloji ve coğrafi değişimlerin ötesine geçerek bağ yönetimi için kritik olan su kaynaklarını da kapsamaktadır. Paso Robles, Kaliforniya gibi bölgelerde, azalan ortalama yıllık yağış miktarı ve artan sıcaklık kombinasyonu su kaynakları üzerinde baskı yaratmakta ve iyileştirilmiş sulama uygulamaları ile su koruma stratejilerini zorunlu hale getirmektedir (Babin ve ark., 2022). Üzüm bağlarının bu su zorluklarına adaptasyonu hayati önem taşımaktadır, çünkü birçok bölge sulama için yalnızca yağışa bağımlıdır ve bu durum onları iklim değişkenliğine karşı özellikle savunmasız hale getirmektedir (Ramos ve ark., 2018).

Ayrıca, yoğun yağış ve kuraklık gibi aşırı hava olaylarındaki artış, toprak erozyonunu ve üzüm bağlarının bozulmasını daha da hızlandırmaktadır. Slovakya'da yapılan çalışmalar, genel yağış seviyeleri sabit kalmasına rağmen, daha yüksek erozyon oranlarının

iklim değişikliğiyle ilişkilendirildiğini ortaya koymuştur (Lieskovský ve Kenderessy, 2022). Bu bozulma, geleneksel üzüm bağları için ciddi bir tehdit oluşturmakta ve toprak kaybını azaltmak ile bağların sağlığını korumak için sürdürülebilir uygulamaların uygulanmasını gerektirmektedir (Comşa ve ark., 2022).

Özetle, iklim değişikliğinin geleneksel üzüm yetiştirme bölgeleri üzerindeki etkileri çok yönlüdür ve fenolojiyi, coğrafi dağılımı, su kaynakları yönetimini ve toprak sağlığını kapsamaktadır. Bu değişiklikler ortaya çıktıkça, üzüm yetiştiricilerinin ürünlerinin sürdürülebilirliğini ve kalitesini sağlamak için uygulamalarını uyarlamaları gerekmektedir. Sürekli izleme ve yenilikçi adaptasyon stratejilerinin geliştirilmesi, değişen iklimin getirdiği zorluklarla başa çıkmada kritik bir rol oynayacaktır.

3.2. Yeni Bağcılık Alanlarının Ortaya Çıkması

Son araştırmalar, özellikle Güney Avrupa'daki birçok yerleşik şarap bölgesinin iklim değişikliği nedeniyle ciddi tehditlerle karşı karşıya olduğunu ortaya koymaktadır. Akdeniz bölgelerinin artan kuraklık ve aşırı hava olayları yaşayacağı, bunun da geleneksel üzüm çeşitleri için uygunluklarını azaltabileceği öngörülmektedir (Gutiérrez-Gamboa ve ark., 2020; Santos ve ark., 2020). Buna karşılık, Birleşik Krallık ve Almanya'nın bazı bölgeleri gibi Kuzey Avrupa bölgeleri, daha sıcak sıcaklıkların büyüme mevsimini uzatması ve üzüm yetiştiriciliği için daha elverişli koşullar yaratmasıyla bağcılık potansiyelinde bir artış yaşamaktadır (Nesbitt ve ark., 2019; Rusz, 2020). Örneğin, Birleşik

Krallık, 2004 ile 2013 yılları arasında bağcılık sektöründe %148 oranında bir büyüme kaydederek, değişen iklim koşullarına hızla uyum sağladığını göstermiştir (Rusz, 2020).

Bağ yöneticilerinin kullandığı uyum stratejileri, bu değişikliklere adaptasyonda kritik bir rol oynamaktadır. Bu stratejiler arasında, daha sıcak iklimlere uygun üzüm çeşitlerinin seçilmesi, daha yüksek rakımlarda bağların kurulması ve su kıtlığını azaltmak için gelişmiş sulama uygulamalarının benimsenmesi yer almaktadır (Mills-Novoa ve ark., 2016; Vigl ve ark., 2018). Ayrıca, iklim etkilerini izlemek ve bağ yönetimini optimize etmek için veri odaklı yaklaşımların kullanımı giderek daha önemli hale gelmektedir. Bu yaklaşımlar, üreticilerin iklim değişkenliğine karşı dayanıklılığı artıran bilinçli kararlar almalarına olanak sağlamaktadır (Naigeon, 2023).

Bununla birlikte, iklim değişikliğinin bağcılık üzerindeki etkisi tekdüze değildir; farklı bölgeler ve üzüm çeşitleri arasında önemli farklılıklar göstermektedir. Bazı çalışmalar, iklim değişikliğinin 2050 yılına kadar önemli şarap üretim alanlarında bağcılık uygunluğunu önemli ölçüde azaltmayabileceğini öne sürerken (Leeuwen ve ark., 2013), diğerleri şarap kalitesini ve verimini korumak için acil adaptasyonların gerekli olduğunu vurgulamaktadır (Koch ve Oehl, 2018; Leeuwen ve ark., 2019). Üzüm asmalarında tomurcuk patlaması ve olgunlaşma gibi fenolojik değişimlerin sürekli izlenmesi, tarımsal uygulamaların değişen iklim koşullarına uyarlanması açısından büyük önem taşımaktadır (Biasi ve ark., 2019).

4. ADAPTASYON VE YÖNETİM STRATEJİLERİ

4.1. İklim Değişikliğine Dayanıklı Üzüm Çeşitlerinin Geliştirilmesi

İklim değişikliğine dayanıklı üzüm çeşitlerinin geliştirilmesi, bağcılığın sürdürülebilirliği açısından giderek daha kritik hale gelmektedir. İklim değişikliği, değişen büyüme mevsimleri, artan sıcaklıklar ve aşırı hava olayları gibi faktörlerle üzüm üretimi üzerinde ciddi tehditler oluşturmaktadır. Bu zorlukları ele almak amacıyla, araştırmacılar ve bağcılar hem abiyotik (kuraklık, sıcaklık, tuzluluk gibi) hem de biyotik (hastalıklar ve zararlılar gibi) stres faktörlerine karşı dayanıklılık gösteren üzüm çeşitleri geliştirmeye odaklanmaktadır.

Bu bağlamda, birincil stratejilerden biri, aşırı iklim koşullarına dayanabilen üzüm çeşitlerinin seçimi ve yetiştirilmesidir. Azaltılmış su talebi ve tuzluluk direnci gibi özelliklere sahip anaçlar, asmaların olumsuz hava koşullarına dayanıklılığını artırabilir. Bu yaklaşım, yalnızca verimi ve şarap kalitesini korumakla kalmaz, aynı zamanda daha önce bağcılık için uygun olmadığı düşünülen bölgelerde üzüm yetiştirme potansiyelini de artırabilir (Vita, 2024). Ayrıca, Kıbrıs gibi bölgelerden gelen yerli üzüm çeşitleri, binlerce yıldır kuraklık ve ısıya dayanıklılıkları nedeniyle doğal olarak seçilmiş olup, iklim değişikliğine uyum için umut verici bir seçenek sunmaktadır (Copper ve ark., 2020; Copper ve ark., 2019).

Dayanıklı çeşitlerin seçimine ek olarak, yetiştirme programları giderek farklı türlerden istenen özellikleri birleştiren türler arası melezlerin geliştirilmesine odaklanmaktadır. Bu melezler, hastalıklara ve iklimsel

uçlara karşı gelişmiş direnç göstermekte olup, iklim değişikliğinin bağlarda zararlıların ve hastalıkların yaygınlığını artırması nedeniyle büyük önem taşımaktadır (Cvetković, 2022; González-Centeno ve ark., 2019). Örneğin, PIWI (mantar dirençli) üzüm çeşitleri, yalnızca hastalık direnci sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda sert iklim koşullarında gelişme potansiyeli de göstermiştir. Bu durum, kimyasal işlemlere olan bağımlılığı azaltarak bağcılıkta daha sürdürülebilir uygulamaları teşvik etmektedir (Vita, 2024; Vecchio ve ark., 2022).

Bunun yanı sıra, bağcılık uygulamalarının uyarlanması, dayanıklı üzüm çeşitlerinin geliştirilmesini tamamlayıcı bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Hassas gölgelik yönetimi gibi teknikler, erken yaprak alma ve kuşaklama gibi uygulamaları içermekte olup, pestisit kullanımını en aza indirirken üzüm kalitesini optimize edebilmektedir (Tóth, 2020). Ayrıca, iklim hizmetlerinin ve karar destek sistemlerinin kullanımı, bağcıların belirli iklim koşullarına uygun en iyi çeşitleri seçmelerine yardımcı olarak bilinçli kararlar almalarını sağlamaktadır (Porras ve ark., 2021).

İklim dirençli üzüm çeşitlerinin geliştirilmesinin ekonomik etkileri de dikkate değerdir. Pestisit ihtiyacını azaltarak ve bağların genel dayanıklılığını artırarak, şarap üreticileri yüksek kaliteli üretimi korurken önemli maliyet tasarrufları elde edebilirler (Vecchio ve ark., 2022). Ayrıca, üzüm çeşitliliğini artırmak, iklim değişikliğiyle ilişkili riskleri azaltabilir ve uzun vadede daha istikrarlı verimler sağlayabilir (Masset, 2024).

4.2. Sulama Yönetimi ve Su Kaynaklarının Verimli Kullanımı

Sulama yönetimi, küresel iklim değişikliğinin getirdiği zorluklara uyum sağlamada giderek daha kritik bir bileşen olarak kabul edilmektedir. İklim değişkenliğinin yoğunlaşmasıyla birlikte, iyileştirilmiş sulama uygulamalarıyla su kaynaklarının verimli kullanımı, tarımsal üretkenliği sürdürmek ve gıda güvenliğini sağlamak için hayati bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, çiftçilerin ve tarım sistemlerinin iklim değişikliğine karşı sulama verimliliğini ve dayanıklılığını artırmak için benimseyebileceği çeşitli stratejiler ve teknolojiler incelenmektedir.

İklim adaptasyonu bağlamında sulamanın en önemli faydalarından biri, artan sıcaklıkların ve değişen yağış düzenlerinin olumsuz etkilerini hafifletme yeteneğidir. Çalışmalar, sulama uygulamalarının olumsuz koşullar altında ürün verimini koruyarak iklim değişikliğiyle ilişkili gelir kayıplarını önemli ölçüde azaltabileceğini göstermektedir (Narita ve ark., 2020). Örneğin, Kenya'nın Mwea bölgesinde yapılan simülasyonlar, etkili sulamanın artan sıcaklıkların tarımsal gelir üzerindeki olumsuz etkilerini telafi edebileceğini ortaya koymuştur (Narita ve ark., 2020). Benzer şekilde, İtalya'da yapılan araştırmalar, sulamanın ekonomik faydalarının daha sıcak iklimlerde arttığını ve çeşitli sulama teknolojilerini benimseyen çiftçilerin iklim değişkenliğine daha iyi uyum sağladığını göstermektedir (Fabri, 2023).

Sulama verimliliğini artırmak, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde dünya genelinde yaygın bir uyum stratejisi olarak öne çıkmaktadır. Sulama verimliliğini %40'tan %55'e çıkarmanın, ürün veriminde

önemli artışlara yol açabileceği ve su kullanımını optimize etmenin önemini vurguladığı belirtilmektedir (Saberli ve ark., 2022). Ayrıca, otomatik sistemler ve iklime duyarlı uygulamalar gibi gelişmiş sulama teknolojilerinin entegrasyonu, tarımsal üretimi korurken veya artırırken su tüketimini önemli ölçüde azaltabilmektedir (Lopez-Jimenez ve ark., 2022; Arenas-Calle ve ark., 2022). Bu teknolojiler yalnızca suyun korunmasına yardımcı olmakla kalmayıp, aynı zamanda tarımsal uygulamalarla ilişkili sera gazı emisyonlarının azaltılmasına da katkıda bulunmaktadır (Arenas-Calle ve ark., 2022).

Çiftçilerin sulamaya ilişkin algıları ve uygulamaları da uyum stratejilerinde önemli bir rol oynamaktadır. Araştırmalar, daha deneyimli ve eğitilmiş çiftçilerin sulamayı iklim değişikliğine uyum sağlamak için hayati bir araç olarak görme olasılıklarının daha yüksek olduğunu göstermektedir (Chinasho ve ark., 2022). Örneğin, Kamboçya'da çiftçiler, değişen iklim koşullarına yanıt olarak sulama sistemlerine yatırım yaptıklarını bildirmiş ve bu durum, uyum stratejilerinin şekillenmesinde yerel bilgi ve uygulamaların önemini vurgulamıştır (Thav, 2023). Ek olarak, kaynaklara erişim ve kurumsal destek gibi sosyoekonomik faktörler, çiftçilerin sulama yönetimiyle ilgili kararlarını önemli ölçüde etkilemektedir (Villamayor-Tomás, 2017).

Sulama alanlarının genişletilmesi, iklim değişikliğine karşı dayanıklılığı artırmak için bir diğer kritik strateji olarak öne çıkmaktadır. Kuzey Çin'de, hükümetin sulanan araziye artırma planlarının, ürün verimini artırması ve iklim zorlukları karşısında uyum

kapasitesini iyileştirmesi beklenmektedir (Zhang ve ark., 2017). Ancak, bu tür genişlemelerin su kıtlığı sorunlarını daha da kötüleştirebilecek sürdürülemez su çıkarma uygulamalarına yol açmaması gerektiği vurgulanmaktadır (Okada ve ark., 2015). Tarımsal ihtiyaçları çevresel sürdürülebilirlikle dengelemek için, sulama suyu talebine yönelik uyarlanabilir stratejilerin geliştirilmesi ve sürdürülebilir yönetim uygulamalarının benimsenmesi gereklidir (Ashofteh ve ark., 2017).

4.3. Bağ Yerleşimi ve Mikroklima Optimizasyonu

Küresel iklim değişikliğine yanıt olarak bağ düzeninin ve mikro iklimin optimizasyonu, tarımsal uygulamaları, su yönetimini ve ekosistem hizmetlerini kapsayan entegre bir yaklaşım gerektiren çok yönlü bir zorluktur. İklim değişikliği, artan sıcaklıklar, değişen yağış düzenleri ve üzüm kalitesini ve verimini olumsuz etkileyebilecek daha sık aşırı hava olayları gibi bağcılık için önemli riskler oluşturmaktadır (Bernardo ve ark., 2018; Venios ve ark., 2020; Ederra ve ark., 2020; Santos ve ark., 2020). Bu nedenle, bağ yöneticilerinin dayanıklılığı ve sürdürülebilirliği artıran uyarlanabilir stratejiler benimsemeleri büyük önem taşımaktadır.

Bağ optimizasyonunun kritik bir yönü, mikro iklimlerin yönetimidir. Bir bağdaki mikro iklim, gölgelik yönetimi, toprak sağlığı ve su mevcudiyeti gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir. Asma yoğunluğunu ve yönünü ayarlama gibi etkili gölgelik yönetimi teknikleri, ışık maruziyetini ve hava sirkülasyonunu optimize ederek ısı stresini azaltmaya ve üzüm kalitesini iyileştirmeye yardımcı olabilir

(Candar ve ark., 2022; Keller, 2010). Ayrıca, örtü bitkilerinin kullanımı toprak sağlığını ve biyolojik çeşitliliği artırabilir; bu da zararlı kontrolü ve besin döngüsü gibi ekosistem hizmetlerini desteklemektedir (Guerra ve Steenwerth, 2011; Garcia ve ark., 2018). Bu uygulamalar yalnızca mikro iklimi iyileştirmekle kalmayıp, bağ operasyonlarının genel sürdürülebilirliğine de katkıda bulunmaktadır (Giffard ve ark., 2022; Viers ve ark., 2013).

Su yönetimi, bağ optimizasyonunun bir diğer önemli bileşenidir. İklim değişikliği, özellikle Akdeniz bölgelerinde artan su kıtlığına yol açtığından, verimli sulama stratejilerinin uygulanması zorunlu hale gelmektedir (Pisciotta ve ark., 2018; Darouich ve ark., 2022). Damla sulama ve yağmur suyu hasadı gibi teknikler, asmaların yeterli nemi almasını sağlarken atığı en aza indirerek su kullanım verimliliğini önemli ölçüde artırabilir (Oprescu ve ark., 2023). Ayrıca, iklim modellemesi ve karar destek sistemleri gibi yenilikçi teknolojilerin entegrasyonu, bağ yöneticilerinin sulama ve diğer yönetim uygulamalarıyla ilgili bilinçli kararlar almalarına yardımcı olmaktadır (Porrás ve ark., 2021; Pickering ve ark., 2015). Bu araçlar, hava desenleri ve toprak nem seviyeleri hakkında gerçek zamanlı veriler sağlayarak bağ yönetiminde proaktif ayarlamalar yapılmasını mümkün kılmaktadır.

Sürdürülebilir toprak yönetimi uygulamalarının benimsenmesi de bağ dayanıklılığını artırmak için hayati bir öneme sahiptir. Azaltılmış toprak işleme ve organik iyileştirmeler gibi uygulamalar, toprak yapısını iyileştirebilir, karbon sekestrasyonunu artırabilir ve su tutma

kapasitelerini geliştirebilir (Zumkeller ve ark., 2022; Lazcano ve ark., 2020). Bu stratejiler yalnızca iklim değişikliğinin etkilerini azaltmakla kalmayıp, bağ ekosisteminin uzun vadeli sağlığına da katkıda bulunmaktadır. Bağ yöneticileri, çeşitli ve sağlıklı bir toprak mikrobiyomunu destekleyerek kimyasal girdilere olan ihtiyacı azaltırken üzüm kalitesini ve verimini artırabilirler (Giffard ve ark., 2022; Lazcano ve ark., 2020).

4.4. Yenilikçi Tarım Uygulamaları

Küresel iklim değişikliği, tarımsal üretim sistemleri üzerinde giderek artan bir tehdit oluşturmaktadır. Bu bağlamda, tarımsal ormancılık ve sürdürülebilir tarım gibi yenilikçi uygulamalar hem tarımsal sistemlerin dayanıklılığını artırma hem de çevresel sürdürülebilirliği teşvik etme potansiyelleriyle dikkat çekmektedir. Bu uygulamalar, yalnızca karbon tutulmasını desteklemekle kalmayıp, aynı zamanda biyolojik çeşitliliğin korunması, toprak sağlığının iyileştirilmesi ve yerel geçim kaynaklarının güçlendirilmesi gibi çok boyutlu faydalar sunmaktadır.

Tarımsal ormancılık, ağaçların tarımsal alanlara entegre edilmesi yoluyla ekosistem hizmetlerini iyileştirmeyi ve iklim değişikliğine karşı dayanıklılığı artırmayı amaçlayan bir yaklaşımdır. Karbon tutulması açısından etkili bir strateji olan bu yöntem, yapılan çalışmalarla 2040 yılına kadar tarımsal arazilerdeki karbon depolama kapasitesini önemli ölçüde artırma potansiyeline sahip olduğu gösterilmiştir (Rijal, 2019).

Ağaçların tarım alanlarına entegrasyonu, tarımsal sistemlerin dayanıklılığını artırarak iklim değişkenliğinin etkilerini tamponlamaktadır (Awazi ve ark., 2020). Bunun yanı sıra, bu yaklaşım, toprak sağlığını ve su tutma kapasitesini iyileştirerek, özellikle kuraklık gibi iklimle bağlantılı risklere karşı çiftçilerin üretkenliğini sürdürmelerine olanak sağlamaktadır (Awazi, 2022; Tefera, 2019). Ayrıca, tarımsal ormancılık, yerel çiftçiler için ek gelir kaynakları yaratırken, gıda güvenliği açısından da kritik roller üstlenmektedir (Quandt ve ark., 2017; Thorlakson ve Neufeldt, 2012).

Sürdürülebilir tarım ise doğal kaynakların korunmasını ve tarımsal ekosistemlerin yenilenmesini temel alan bir yaklaşımdır. Özellikle tarımsal ekoloji, biyolojik çeşitliliği teşvik ederek kimyasal girdilere olan bağımlılığı azaltan bir yöntem olarak öne çıkmaktadır (Altieri ve Nicholls, 2020; Sethuraman ve ark., 2021). Bu sistem, çevresel streslere dayanıklı tarımsal uygulamaları destekler ve ürün çeşitliliği, ara ekim ve yerel genotiplerin kullanımı gibi yöntemlerle iklim değişikliğine uyumu artırır (Akanmu ve ark., 2023). Tarımsal ekolojik yaklaşımlar, küçük ölçekli çiftçilerin gıda güvenliğini sağlamanın yanı sıra, iklim kaynaklı şoklara duyarlılığı azaltarak kırılganlığı önemli ölçüde düşürmektedir (Asfaw ve ark., 2021; Isaacs ve ark., 2016). Ayrıca, bu uygulamalar, toprağın organik madde içeriğini artırarak uzun vadeli tarımsal verimliliğe katkı sağlamaktadır.

Teknolojinin tarıma entegrasyonu, iklim değişikliğiyle mücadelede yenilikçi tarım uygulamalarını tamamlayan önemli bir unsur haline

gelmiştir. Hava durumu tahmini, iklim izleme sistemleri ve hassas tarım araçları, çiftçilere bilinçli karar alma süreçlerinde rehberlik etmektedir (Harmanny ve Malek, 2019). Ancak, bu modern yeniliklerin geleneksel bilgi ve uygulamalarla harmanlanması, daha etkili ve sürdürülebilir sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır (Altieri ve ark., 2015). Bu bağlamda, Küresel İklim Akıllı Tarım İttifakı, modern teknolojiler ile yerel tarımsal bilgilerin entegrasyonunun gerekliliğini vurgulamaktadır. İttifak, tarım sistemlerinin dayanıklılığını artırmak için teknolojik yeniliklerin, tarımsal ekolojinin ilkeleriyle uyum içinde kullanılmasını önermektedir (Altieri ve ark., 2015).

Tarımsal ormancılık ve sürdürülebilir tarım uygulamaları, iklim değişikliğine karşı mücadelede yenilikçi ve çok yönlü çözümler sunmaktadır. Bu uygulamalar, karbon tutulmasından biyolojik çeşitliliğin korunmasına, yerel ekonomilerin desteklenmesinden gıda güvenliğinin artırılmasına kadar geniş bir etki yelpazesine sahiptir. Ancak, bu yaklaşımların başarıya ulaşması için politika desteği, yerel halkın katılımı ve bilimsel yeniliklerin geleneksel bilgiyle dengeli entegrasyonu hayati önem taşımaktadır.

5. ÜZÜM KALİTESİNE ETKİLER

5.1. Şeker ve Asit Dengesi Üzerindeki Etkiler

Küresel iklim değişikliğinin üzümlerdeki şeker ve asit dengesi üzerindeki etkileri, bağcılık araştırmalarında önemli bir ilgi odağı haline gelmiştir. Sıcaklıkların artmasıyla birlikte üzüm asmalarındaki fizyolojik süreçler değişmekte ve bu durum meyve bileşiminde önemli

değişikliklere yol açmaktadır. Özellikle, artan sıcaklıklar şeker birikimini hızlandırırken organik asit konsantrasyonlarını azaltmakta ve bu da üzümlerden üretilen şarapların duyuusal niteliklerini olumsuz etkileyebilmektedir. Araştırmalar, iklim değişikliğinin üzümlerdeki organik asitlerin bozulmasına neden olduğunu ve bunun şaraptaki tat dengesini korumak açısından kritik bir sorun oluşturduğunu göstermektedir. Sparacio ve ark. (2021), organik asitlerin bozulmasının ve şeker içeriğindeki artışın, özellikle daha sıcak ve kuru bölgelerde iklim değişikliğinin önemli bir sonucu olduğunu vurgulamaktadır. Bu eğilim, şeker bileşiminin genellikle sabit kalmasına rağmen, organik asitlerin iklim koşullarından ve üzüm çeşitlerinin genetik faktörlerinden önemli ölçüde etkilendiğini belirten Kunter (2024) tarafından da desteklenmektedir. Tartarik ve malik asitler gibi organik asitlerdeki azalma, bu bileşiklerin şarabın asiditesine ve genel dengesine katkıda bulunması nedeniyle özellikle endişe vericidir (Навратилова ve ark., 2020).

Bunun yanı sıra, üzümlerin daha erken olgunlaşması gibi iklim değişikliğinin neden olduğu fenolojik değişiklikler bu etkileri daha da kötüleştirmektedir. Karastergiou ve ark. (2023), daha erken olgunlaşmanın daha yüksek şeker seviyelerine ve daha düşük organik asit konsantrasyonlarına yol açtığını ve bunun şarapların duyuusal dengesini bozabileceğini bildirmektedir. Bu olgu genellikle "bağbozumu etkisi" olarak adlandırılmaktadır; burada iklim koşulları, üzüm verimi ve kalitesi üzerinde diğer çevresel faktörlerden daha belirgin bir etkiye sahiptir (Blanco-Ward ve ark., 2019). Bu durum,

şeker ve asit dengesinin hem lezzetli hem de stabil olan yüksek kaliteli şaraplar üretmek için gerekli olması nedeniyle derin etkiler yaratmaktadır.

Güney Romanya gibi bölgelerde yapılan çalışmalar, iklim değişikliğinin şeker konsantrasyonunda önemli artışlara ve toplam asitlikte azalmaya yol açtığını göstererek küresel eğilimi doğrulamaktadır (Bucur ve ark., 2019). Irimia ve ark. (2017) de benzer örüntüler gözlemlemiş ve iklim parametrelerindeki değişikliklerin daha erken tomurcuklanma ve olgunlaşma ile birlikte asitlik seviyelerinin azalmasına neden olduğunu belirtmiştir. Bu bulgular, iklim değişikliğinin etkilerinin tekdüze olmadığını, yerel iklim koşulları ve üzüm çeşitleri tarafından etkilenerek farklı coğrafi bölgelerde değişiklik gösterdiğini ortaya koymaktadır.

İklim değişikliği nedeniyle üzüm bileşimindeki biyokimyasal değişiklikler yalnızca şekerler ve asitlerle sınırlı değildir. Fenolik bileşikler ve aroma öncülleri gibi ikincil metabolitlerin sentezi de bu durumdan etkilenmektedir. Yüksek sıcaklıkların, şarabın duyuşal nitelikleri açısından kritik öneme sahip bu bileşiklerin sentezini engellediği gösterilmiştir (Tong ve ark., 2022; López ve ark., 2021).

5.2. Aromatik Bileşiklerin Değişimi

İklim Değişikliğinin Üzüm Aromatik Bileşenleri ve Şarap Kalitesine Etkileri

Küresel iklim değişikliği, üzüm bağıcılığı ve şarap üretimi üzerinde geniş kapsamlı etkilere sahiptir. Özellikle üzümlerdeki aromatik

bileşiklerin bileşimindeki değişiklikler, şarap kalitesini ve t¼keticiler tercihlerini doğrudan etkileyerek sekt¼rde önemli zorluklara yol açmaktadır. Artan sıcaklıklar ve değişen yağış rejimleri, üz¼m fenolojisinde kaymalara neden olmakta ve bu durum erken hasatlar ile şarapların duysal profilini oluşt¼ran uçucu bileşiklerde farklılıklara yol açmaktadır.

¼z¼m Fenolojisindeki Değişimler

İklim değişikliğinin üz¼m olgunlaşma süreçleri üzerindeki en dikkat çekici etkilerinden biri, olgunlaşmanın hızlanmasıdır. Araştırmalara göre, üz¼m olgunlaşması son birkaç on yılda 10 ila 24 g¼n daha erken gerçekleşmektedir (Sancho-Galán ve ark., 2021). Bu değişim, üz¼mlerin daha yüksek şeker seviyelerinde, ancak genellikle daha düşük asitlik ve fenolik olgunlukta hasat edilmesine neden olmaktadır. Şeker ve asitlik dengesi ile fenolik olgunluk, kaliteli şarap üretimi için temel bileşenler olduğundan, bu durum istenen aroma ve tat profillerinin oluşumunu olumsuz etkileyebilir (Delgado ve ark., 2022; Leeuwen ve Darriet, 2016).

Uçucu Bileşiklerin Bileşimindeki Değişimler

İklim değişikliğinin doğrudan etkilerinden biri, şarapların aromatik yapısını belirleyen uçucu bileşiklerin konsantrasyonlarındaki değişimlerdir. Özellikle sıcak iklimler, meyveli ve otsu duysal özelliklerle ilişkilendirilen etil vanilin ve etil hekzanoat gibi bileşiklerin azalmasına neden olabilir (Gutiérrez-Gamboa ve ark., 2018). Bu değişim, şarapların duysal profilini karmaşıklıktan uzaklaştırarak t¼keticiler açısından daha az çekici hale getirebilir.

Ayrıca, üzümlerdeki terpenler ve norisoprenoidler gibi aromatik profili oluşturan diğer bileşikler, çevresel koşullara duyarlı gen ekspresyonları ile modüle edilmektedir (Lu ve ark., 2022; Pons ve ark., 2017). Daha yüksek sıcaklıklar ve artan güneş ışığı maruziyeti, bu bileşiklerin birikimini etkileyerek yetiştirme bölgeleri ve üzüm çeşitleri arasında belirgin aroma farklılıklarına yol açabilir (He ve ark., 2020; Vilanova ve ark., 2012).

İstenmeyen Aromaların Oluşumu

Artan sıcaklıklarla ilişkili stres faktörleri, üzüm asmalarının metabolizmasını etkileyerek şaraplarda istenmeyen tat ve aromaların ortaya çıkmasına neden olabilir. Fermantasyon sırasında belirli uçucu bileşiklerin sentezi değişebilir ve bu durum şarap kalitesini düşüren istenmeyen tatlara yol açabilir (Crespo, 2023). Bu bağlamda, üzüm olgunlaşma süreçleri ile fermantasyon dinamikleri arasındaki karmaşık etkileşimlerin daha iyi anlaşılması, şarap üreticileri için kritik bir araştırma alanı olarak öne çıkmaktadır (Vilela, 2019; Boss ve ark., 2017).

Uy Adaptasyon Stratejileri ve Gelecek Perspektifler

Şarap üretiminde iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini hafifletmek için çeşitli uyum stratejileri geliştirilmiştir. Bu stratejiler arasında bağların farklı irtifa ve enlemlerde yeniden konumlandırılması, geç olgunlaşan üzüm çeşitlerinin tercih edilmesi ve gelişmiş sulama tekniklerinin uygulanması yer almaktadır. Ayrıca, fermantasyon süreçlerindeki teknolojik yenilikler, aroma profillerinin korunmasına

veya iyileştirilmesine yardımcı olabilir. Bununla birlikte, uzun vadeli çözümler için bağcılık sistemlerinin değişen iklim koşullarına dayanıklılığını artırmaya yönelik daha bütüncül yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yaklaşımlar, yalnızca çevresel sürdürülebilirliği değil, aynı zamanda şarap üretiminde kalite sürekliliğini de sağlayabilir.

6. POLİTİKALAR VE FARKINDALIK

6.1. İklim değişikliğine uyum için hükümet ve uluslararası politikalar.

Küresel iklim değişikliği, çevresel, sosyal ve ekonomik sistemler üzerinde derin etkiler yaratarak, uyum politikalarını ulusal ve uluslararası düzeyde bir öncelik haline getirmiştir. Hem hükümetler hem de uluslararası kuruluşlar, kısa vadeli etkilerin yönetimiyle birlikte uzun vadeli dayanıklılığı artırmayı hedefleyen bütüncül stratejiler geliştirmektedir. Bu bağlamda, uyum politikalarının farklı boyutları ele alınarak, etkin uygulamaların önündeki fırsatlar ve engeller değerlendirilmektedir.

Ulusal Düzeyde Uyum Politikaları

Ulusal düzeyde uyum, genellikle iklim değişikliği unsurlarının kalkınma planlarına entegre edilmesi yoluyla gerçekleştirilmektedir. Ulusal Uyum Eylem Programları (NAPA), özellikle en az gelişmiş ülkelerde, geçim kaynaklarını tehdit eden iklim risklerini azaltmak için yol haritaları sunmaktadır (Gwimbi, 2017). Bu programlar, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC)

kapsamında oluşturulmuş ve uyumun kalkınma politikalarına entegrasyonunda etkili olmuştur (Ayers ve ark., 2014). Ancak, yerel düzeyde siyasi irade ve kurumsal kapasite eksikliği, bu programların uygulanabilirliğini sınırlayan temel faktörlerden biridir. Örneğin, Nijerya’da yerel yönetimlerin etkili düzenlemeleri uygulayamaması nedeniyle iklim değişikliğine karşı dayanıklılık zayıf kalmıştır (Oramah ve Olsen, 2021).

Dayanıklılık ve Dinamik Yönetişim

İklim değişikliğine uyum politikalarının bir diğer önemli boyutu, dayanıklılık kavramı etrafında şekillenmektedir. Dayanıklılık, yalnızca mevcut iklim etkilerine yanıt verme kapasitesini değil, aynı zamanda gelecekteki belirsizliklere karşı uyarlanabilirlik yeteneğini de ifade etmektedir (Meerow ve Stults, 2016). Bu durum, politika yapıcılarının statik planlama modellerinden uzaklaşarak dinamik ve esnek yönetim yapılarına yönelmesine yol açmıştır. Özellikle şehirlerde, kentsel dayanıklılık stratejileri, artan iklim risklerine karşı hazırlıklı olmak için uyarlanabilir çözümler sunmaktadır (Tyler ve Moench, 2012). Asya’daki hızlı kentleşme ve iklim etkilerinin şiddetli olduğu bölgelerde bu tür yaklaşımlar kritik önem taşımaktadır.

Uluslararası Çerçeve: Paris Anlaşması

Paris Anlaşması, uyum politikalarının uluslararası düzeyde ana hatlarını belirleyen temel çerçevelerden biridir. Anlaşmanın Madde 2.1b’si, dayanıklılığın güçlendirilmesini temel hedeflerden biri olarak açıkça ortaya koymuştur (Arora ve Kaur, 2023). Bu küresel taahhüt, ülkeleri Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkılar (NDC'ler) yoluyla uyum

planlarını detaylandırmaya teşvik etmiştir (Fofana, 2023). Ancak, birçok ülkenin uyum önlemlerini ulusal politikalara etkili bir şekilde entegre etme konusunda zorluklar yaşadığı görülmektedir (Fatemi ve ark., 2020).

Yerel Düzeyde Yönetişim ve Toplum Katılımı

İklim değişikliğine uyum stratejilerinin başarısı, yerel düzeyde güçlü yönetim mekanizmalarının oluşturulmasına ve toplum katılımına bağlıdır. Etkili uyum politikaları, birden fazla paydaşın iş birliğini gerektirmektedir. Botsvana’da hükümet, sivil toplum kuruluşları ve yerel topluluklar arasındaki ortaklıklar, anlamlı ve etkili iklim uyum politikalarının geliştirilmesinde kilit rol oynamıştır (Makwatse ve ark., 2022). Bu tür katılımcı yaklaşımlar, uyum politikalarının yerel ihtiyaçlara uygun şekilde şekillenmesini ve toplulukların kendi dayanıklılıklarını inşa etmelerini sağlamaktadır (Sheppard ve ark., 2011).

Çok Yönlü Yaklaşım ve Sürdürülebilir Kalkınma

İklim değişikliğine uyum, farklı sektörleri kapsayan çok yönlü bir yaklaşım gerektirmektedir. Ulusal kalkınma planları, kentsel dayanıklılık stratejileri ve uluslararası taahhütler arasında uyumlu bir ilişki kurulması büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, yerel düzeyde yönetim kapasitesinin artırılması ve toplumların katılımının teşvik edilmesi, uyum politikalarının etkinliğini artıracaktır. Bu, yalnızca iklim değişikliği etkilerini hafifletmekle kalmayıp, aynı zamanda sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmayı da kolaylaştıracaktır.

6.2. Çiftçi Eğitim Programlarının Önemi

Tarımsal üretimin değişen iklim koşullarına uyum sağlaması, özellikle çiftçilerin bilgi ve becerilerini geliştirmeye yönelik eğitim programlarının etkili bir şekilde uygulanmasını gerektirmektedir. Çiftçi eğitim programları, dayanıklılığı artırmak, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini en aza indirmek ve tarımsal sürdürülebilirliği desteklemek için kritik araçlar arasında yer almaktadır.

Araştırmalar, eğitim programlarının çiftçilerin iklim değişikliği algılarını ve karar alma süreçlerini önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymaktadır. Yarney ve ark. (2021), özellikle kırsal kadın çiftçilerin iklim değişikliği konusunda sürekli eğitime ihtiyaç duyduğunu ve bu tür programların sürdürülebilir adaptasyon stratejilerinin uygulanmasını teşvik ettiğini vurgulamaktadır. Benzer şekilde, Tshikororo ve ark. (2020), yayım hizmetlerine erişimin çiftçilerin adaptasyon stratejilerini benimsemelerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu ve kurumsal desteğin bu süreçte önemli bir rol oynadığını ifade etmektedir.

Eğitim programlarının etkili olabilmesi için, çiftçilerin özel ihtiyaçlarına ve bağlarına uygun şekilde tasarlanması gerekmektedir. Mahmood ve ark. (2020), iklim değişikliği farkındalığının adaptasyon davranışlarını etkileyen kritik bir faktör olduğunu belirtmiş ve yayım ajanlarının eğitim sunmadaki hayati rolünü vurgulamıştır. Eğitim müfredatının, çiftçilerin iklim değişikliğine karşı direnç geliştirmesine yardımcı olacak yenilikçi

teknikleri içermesi büyük önem taşımaktadır. Teklu ve ark. (2023), iklim akıllı tarım uygulamalarının eğitim programlarına entegre edilmesinin, çiftçilere üretkenliği koruma ve iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltma konularında yardımcı olduğunu ifade etmektedir.

Çiftçilerin sosyo-ekonomik durumu, adaptasyon kapasitelerini doğrudan etkileyen önemli bir faktördür. Das (2021), yoksul çiftçilik yapan hanelerin iklim değişikliğine karşı daha savunmasız olduğunu ve bu gruplar için hedefli adaptasyon önlemlerinin gerekli olduğunu vurgulamaktadır. Bu bağlamda, eğitim programları, yalnızca teknik becerilere odaklanmakla kalmamalı, aynı zamanda sosyo-ekonomik engelleri ele alarak dayanıklılığı artırmayı hedeflemelidir. Çiftçi gruplarının kurulması, iş birliğini ve bilgi paylaşımını teşvik ederek eğitimin etkinliğini artırabilir (Priyanto ve ark., 2021).

Eğitim programlarının başarısı, çiftçilerin aktif katılımını ve yerel bilgiye dayalı öğrenme süreçlerini içermesine bağlıdır. Everest (2021), eğitim programlarına katılan çiftçilerin uyarlanabilir uygulamalara daha kolay entegre olduğunu belirtmiştir. Priyanto ve ark. (2020), yapılandırılmış eğitimlere katılan çiftçilerin uyum stratejilerini benimseme olasılığının daha yüksek olduğunu ifade etmektedir.

Etkili çiftçi eğitim programları, iklim değişikliği karşısında tarım sektörünün dayanıklılığını artırmak için vazgeçilmezdir. Eğitim, yalnızca teknik bilgi sağlamanın ötesinde, çiftçilerin karşılaştığı sosyo-ekonomik ve çevresel engelleri ele alan çok yönlü bir yaklaşımı

gerektirmektedir. Bu programların tasarımı, çiftçilerin özel ihtiyaçlarına göre uyarlanmalı ve yerel topluluklarla iş birliğini teşvik etmelidir. Bu şekilde, tarımsal üretimde sürdürülebilirlik sağlanabilir ve iklim değişikliğinin olumsuz etkileri en aza indirilebilir.

SONUÇ

Küresel iklim değişikliği, üzüm yetiştiriciliği ve şarap üretimi üzerinde geniş kapsamlı zorluklar yaratmaktadır. Sıcaklık artışları, değişen yağış düzenleri ve aşırı hava olayları, bağcılık uygulamalarını ve şarap kalitesini doğrudan etkileyerek sektörde önemli değişimlere yol açmaktadır.

Fenolojide Değişiklikler ve Kalite Üzerindeki Etkiler

Artan sıcaklıklar, üzüm asmalarının büyüme döngülerinde kaymalara neden olarak daha erken tomurcuklanma, çiçeklenme ve olgunlaşma süreçlerini beraberinde getirmektedir. Bu durum, üzümde şeker birikimini hızlandırırken asitlik ve fenolik olgunluk arasında dengesizlik yaratabilir. Örneğin, İspanya'nın Endülüs bölgesinde yapılan araştırmalar, sıcaklık artışlarının üzümlerdeki ikincil metabolitlerin konsantrasyonunu etkilediğini ve bunun şarapların duyuşal profillerini olumsuz yönde etkileyebileceğini göstermektedir (Sancho-Galán ve ark., 2020). Şeker ve asitlikteki bu dengesizlik, şaraplarda alkol içeriğini artırarak lezzet profillerini değiştirebilir ve tüketici tercihlerinde olumsuz etkiler yaratabilir (Rayne ve ark., 2011).

Hastalıkların Yaygınlaşması

İklim değişikliği, bağcılık için uygun koşullarda değişiklikler yaratarak asma hastalıklarının yayılmasına neden olabilmektedir. Daha yüksek sıcaklıklar ve düzensiz yağışlar, patojenler ve zararlılar için elverişli ortamlar yaratmaktadır. Yoğun yağış ve sel gibi aşırı hava olayları, hastalıkların yayılmasını artırarak üretim kayıplarına yol açabilir (Li ve ark., 2019). Bu tür koşullar, bağ sağlığı ve yönetim uygulamaları üzerinde ek baskılar oluşturmaktadır.

Bağcılık Bölgelerindeki Değişimler

Değişen iklim, geleneksel üzüm yetiştirme bölgelerinin uygunluğunu yeniden şekillendirmektedir. Sıcaklık stresine ve su kıtlığına maruz kalan bazı bölgeler daha az elverişli hale gelirken, daha önce marjinal olarak değerlendirilen bölgeler bağcılık için uygun hale gelebilmektedir (Gaiotti ve ark., 2018). Bu durum, yerleşik şarap endüstrileri için ekonomik sonuçlar doğurabilir ve yeni bağcılık alanlarının keşfini teşvik edebilir (Fraga ve ark., 2017).

Adaptasyon Stratejileri ve Sürdürülebilirlik

Üzüm yetiştiriciliğinin sürdürülebilirliğini sağlamak ve iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini en aza indirmek için bir dizi adaptasyon stratejisi benimsenmelidir:

İklim İzleme ve Modern Teknolojiler

İklim izleme cihazlarının kullanımı, bağ yönetimi kararlarını optimize etmek için hayati önem taşımaktadır. Bu teknolojiler, sıcaklık ve nem

gibi mikroklimatik koşulların izlenmesine olanak tanıyarak proaktif önlemler alınmasını sağlamaktadır (Savina, 2023).

Su ve Kaynak Yönetimi

Su tasarrufunu artıran sulama teknikleri ve gübre kullanımını optimize eden uygulamalar, bağcılık sürdürülebilirliğini desteklemektedir. Ayrıca, biyolojik haşere kontrol yöntemleri, kimyasal kullanımını azaltarak çevre dostu bir yaklaşım sunmaktadır (Keller, 2010).

Duyusal Profillerin Korunması

Şaraplarda hızlanan olgunlaşma nedeniyle artan alkol oranı, lezzet profillerini olumsuz etkileyebilmektedir. Bu durumu dengelemek için asma çeşitliliğinin artırılması, olgunlaşma sürelerinin genetik veya kültürel yöntemlerle düzenlenmesi gibi çözümler değerlendirilebilir (Firth ve ark., 2017).

Küresel iklim değişikliği, üzüm yetiştiriciliği ve şarap endüstrisi üzerinde derin ve çok yönlü etkiler yaratmaktadır. Artan sıcaklıklar, değişen yağış rejimleri ve aşırı hava olayları, bağcılık uygulamalarını ve şarap kalitesini doğrudan etkileyerek sektörde önemli zorluklara yol açmaktadır. Bu etkilerin hafifletilmesi ve bağcılığın sürdürülebilirliğinin korunması için adaptasyon stratejilerinin uygulanması kritik bir öneme sahiptir.

Yenilikçi yönetim yaklaşımları, çevre dostu uygulamalar ve iklim değişikliğine dayanıklı asma türlerinin geliştirilmesi, bağcılık sektörünün geleceğini şekillendirecek temel unsurlar arasında yer

almaktadır. Bu stratejiler, yalnızca iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda şarap üretiminde kalite ve verimliliğin sürdürülebilirliğini sağlamaya yönelik uzun vadeli çözümler sunmaktadır.

KAYNAKÇA

- Akanmu, A. O., Akol, A. M., Ndolo, D. O., Kutu, F. R., & Babalola, O. O. (2023). Agroecological techniques: Adoption of safe and sustainable agricultural practices among the smallholder farmers in Africa. *Frontiers in Sustainable Food Systems*.
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2020). Agroecology: Challenges and opportunities for farming in the Anthropocene. *International Journal of Agriculture and Natural Resources*.
- Altieri, M. A., Nicholls, C. I., Henao, A., & Lana, M. (2015). Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for Sustainable Development*.
- Antolín, M. C., Barbosa Toledo, M. C., Pascual, I., Irigoyen, J. J., & Goicoechea, N. (2020). The exploitation of local *Vitis vinifera* L. biodiversity as a valuable tool to cope with climate change maintaining berry quality. *Plants*.
- Antolín, M. C., Salinas, E., Fernández, A., Gogorcena, Y., Pascual, I., Irigoyen, J. J., & Goicoechea, N. (2022). Prospecting the resilience of several Spanish ancient varieties of red grape under climate change scenarios. *Plants*.
- Arenas-Calle, L. N., Heinemann, A. B., Soler Silva, M. A., dos Santos, A. B., Ramírez-Villegas, J., & Challinor, A. J. (2022). Rice management decisions using process-based models with climate-smart indicators. *Frontiers in Sustainable Food Systems*.
- Asfaw, A., Bantider, A., Simane, B., & Hassen, A. (2021). Smallholder farmers' livelihood vulnerability to climate change-induced hazards: Agroecology-based comparative analysis in Northcentral Ethiopia (Woleka Sub-Basin). *Heliyon*.
- Ashofteh, P., Bozorg-Haddad, O., & Loáiciga, H. A. (2017). Development of adaptive strategies for irrigation water demand management under climate change. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*.

- Awazi, N. P. (2022). Agroforestry for climate change adaptation, resilience enhancement and vulnerability attenuation in smallholder farming systems in Cameroon. *Journal of Atmospheric Science Research*.
- Awazi, N. P., Tchamba, M. N., & Temgoua, L. F. (2020). Climate-smart practices of smallholder farmers in Cameroon confronted with climate variability and change: The example of agroforestry. *Agricultural Research*.
- Ayers, J., Huq, S., Wright, H., Faisal, A. M., & Hussain, S. T. (2014). Mainstreaming climate change adaptation into development in Bangladesh. *Climate and Development*.
- Babin, N., Guerrero, J. R., Rivera, D., & Singh, A. S. (2022). Vineyard-specific climate projections help growers manage risk and plan adaptation in the Paso Robles AVA. *California Agriculture*.
- Barnuud, N. N., Zerihun, A., Mpelasoka, F., Gibberd, M., & Bates, B. C. (2013). Responses of grape berry anthocyanin and titratable acidity to the projected climate change across the Western Australian wine regions. *International Journal of Biometeorology*.
- Bernardo, S., Dinis, L.-T., Machado, N., & Moutinho-Pereira, J. (2018). Grapevine abiotic stress assessment and search for sustainable adaptation strategies in Mediterranean-like climates: A review. *Agronomy for Sustainable Development*.
- Biasi, R., Brunori, E., Ferrara, C., & Salvati, L. (2019). Assessing impacts of climate change on phenology and quality traits of *Vitis vinifera* L.: The contribution of local knowledge. *Plants*.
- Bigard, A., Berhe, D. T., Maoddi, E., Sire, Y., Boursiquot, J., Ojeda, H., Péros, J., Doligez, A., Romieu, C., & Torregrosa, L. (2018). *Vitis vinifera* L. fruit diversity to breed varieties anticipating climate changes. *Frontiers in Plant Science*.
- Blanco-Ward, D., Ribeiro, A. C., Barreales, D., Castro, J. P., Verdial, J., Feliciano, M., Viceto, C., Carlos, C., Silveira, C., Miranda, & A. (2019). Climate change potential effects on grapevine bioclimatic indices: A case study for the Portuguese Demarcated Douro Region (Portugal). *Bio Web of Conferences*.

- Bois, B., Zito, S., & Calonnec, A. (2017). Climate vs grapevine pests and diseases worldwide: The first results of a global survey. *Oeno One*.
- Bonnefoy, C., Quénoł, H., Bonnardot, V., Barbeau, G., Madelin, M., Planchon, O., & Neethling, E. (2012). Temporal and spatial analyses of temperature in a French wine-producing area: The Loire Valley. *International Journal of Climatology*.
- Boss, P. K., Kalua, C. M., Nicholson, E. L., Maffei, S. M., Böttcher, C., & Davies, C. (2017). Fermentation of grapes throughout development identifies stages critical to the development of wine volatile composition. *Australian Journal of Grape and Wine Research*.
- Bucur, G. M., Cojocaru, G. A., & Antoce, A. O. (2019). The climate change influences and trends on the grapevine growing in Southern Romania: A long-term study. *Bio Web of Conferences*.
- Candar, S., Korkutal, İ., & Bahar, E. (2022). Changes of vine water status and growth parameters under different canopy managements on cv. Merlot (*Vitis vinifera* L.). *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*.
- Chami, D. E., & Moujabber, M. E. (2014). Competitiveness of Lebanese wine: New shoots from ancient roots. *Journal of Wine Research*.
- Cherviak, S. (2023). Quality assessment of grapes and wines of the Alminskiy terroir (Crimean Western-Coastal Piedmont viticultural and winemaking region). *E3S Web of Conferences*.
- Chinasho, A., Bedadi, B., Lemma, T., Tana, T., Hordofa, T., & Elias, B. (2022). Farmers' perceptions about irrigation roles in climate change adaptation and determinants of the choices to WUE-improving practices in Southern Ethiopia. *Air Soil and Water Research*.
- Cogato, A., Meggio, F., Pirotti, F., Cristante, A., & Marinello, F. (2019). Analysis and impact of recent climate trends on grape composition in North-East Italy. *Bio Web of Conferences*.
- Cohen, P., Baciliéri, R., Ramos-Madriral, J., Privman, E., Weber, A., Fuks, D., Weiss, E., Erickson-Gini, T., Bucking, S., Tepper, Y., Cvikel, D., Schmidt, J., Gilbert, M., Wales, N., Bar-Oz, G., & Meiri, M. (2023). Ancient DNA from a lost

- Negev Highlands desert grape reveals a Late Antiquity wine lineage. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.
- Colibaba, L. C. (2023). Grape technology vs. climate change: A success story or a nightmare?
- Comşa, M., Tomoiagă, L. L., Muntean, M.-D., Ivan, M. M., Orian, S. M., Popescu, D., & Chedea, V. S. (2022). The effects of climate change on the activity of the *Lobesia botrana* and *Eupoecilia ambiguella* moths on the grapevine cultivars from the Târnave vineyard. *Sustainability*.
- Copper, A. W., Collins, C., Bastian, S. E. P., Johnson, T. E., Koundouras, S., Karaolis, C., & Savvides, S. (2020). Vine performance benchmarking of indigenous Cypriot grape varieties Xynisteri and Maratheftiko. *Oeno One*.
- Copper, A. W., Johnson, T. E., Danner, L., Bastian, S. E. P., & Collins, C. (2019). Sensory and chemical profiling of Cypriot wines made from indigenous grape varieties Xynisteri, Maratheftiko and Giannoudhi and acceptability to Australian consumers. *Oeno One*.
- Crespo, J. (2023). Influence of native *Saccharomyces cerevisiae* strains on Malvasia Aromatica wines. *Frontiers in Bioscience-Elite*.
- Cvetković, T. J. (2022). Technological characteristics of interspecific hybrids Bronner, Muscaris and Morava in Banja Luka region. *Journal of Agricultural Food and Environmental Sciences*.
- Darmaun, M., Leppert, F., Bernoux, M., Mphesha, M., & Müller, A. (2020). The potential of agroecology to build climate-resilient livelihoods and food systems.
- Darouich, H., Ramos, T. B., Pereira, L. S., Rabino, D., Bagagiolo, G., Capello, G., Simionesei, L., Cavallo, E., & Biddoccu, M. (2022). Water use and soil water balance of Mediterranean vineyards under rainfed and drip irrigation management: Evapotranspiration partition and soil management modelling for resource conservation. *Water*.
- Das, M. (2021). Determinants of adaptation strategies of agricultural farmers to climate change vulnerability in Odisha. *Asian Journal of Agricultural Extension Economics & Sociology*.

- Davoudi, S., Brooks, E., & Mehmood, A. (2013). Evolutionary resilience and strategies for climate adaptation. *Planning Practice and Research*.
- de Orduña, R. M. (2010). Climate change associated effects on grape and wine quality and production. *Food Research International*.
- Delgado, J. A., Alises, M. O., Alonso-Villegas, R., Sánchez-Palomo, E., & González-Viñas, M. Á. (2022). Effects of the irrigation of Chelva grapevines on the aroma composition of wine. *Beverages*.
- Drappier, J., Thibon, C., Rabot, A., & Gény-Denis, L. (2017). Relationship between wine composition and temperature: Impact on Bordeaux wine typicity in the context of global warming—Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*.
- Ederra, D. M., Armengol, J., Carbonell-Bejerano, P., Escalona, J. M., Gramaje, D., Hernández-Montes, E., Intrigliolo, D. S., Martínez-Zapater, J. M., Medrano, H., Mirás-Avalos, J. M., Palomares-Rius, J. E., Romero-Azorín, P., Savè, R., Santesteban, L. G., & Herralde, F. de. (2020). Challenges of viticulture adaptation to global change: Tackling the issue from the roots. *Australian Journal of Grape and Wine Research*.
- Eghweree, C. O., & Imuetinyan, F. O. (2019). Africa and the climate change diplomacy. *Journal of Sustainable Development*.
- Everest, B. (2021). Willingness of farmers to establish a renewable energy (solar and wind) cooperative in NW Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*.
- Fabri, C. (2023). Adaptation to climate change: The irrigation technology mix of Italian farmers. *Applied Economic Perspectives and Policy*.
- Fatemi, Md. N., Okyere, S. A., Diko, S. K., & Kita, M. (2020). Multi-level climate governance in Bangladesh via climate change mainstreaming: Lessons for local climate action in Dhaka City. *Urban Science*.
- Fiankor, D.-D. D., Flachsbarth, I., Masood, A., & Brümmer, B. (2019). Does GlobalGAP certification promote agrifood exports? *European Review of Agricultural Economics*.

- Fiankor, D.-D. D., Martínez-Zarzoso, I., & Brümmer, B. (2019). Exports and governance: The role of private voluntary agrifood standards. *Agricultural Economics*.
- Firth, R. H., Kala, J., Lyons, T. J., & Andrys, J. (2017). An analysis of regional climate simulations for Western Australia's wine regions—Model evaluation and future climate projections. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*.
- Fofana, I. (2023). CACCI field notes - No. 04.
- Fraga, H., de Atauri, I. G., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., & Santos, J. A. (2017). Viticulture in Portugal: A review of recent trends and climate change projections. *Oeno One*.
- Gaiotti, F., Pastore, C., Filippetti, I., Lovat, L., Belfiore, N., & Tomasi, D. (2018). Low night temperature at veraison enhances the accumulation of anthocyanins in Corvina grapes (*Vitis vinifera* L.). *Scientific Reports*.
- Garcia, L., Celette, F., Gary, C., Ripoché, A., Valdés-Gómez, H., & Métay, A. (2018). Management of service crops for the provision of ecosystem services in vineyards: A review. *Agriculture Ecosystems & Environment*.
- Giffard, B., Winter, S., Guidoni, S., Nicolăi, A., Castaldini, M., Cluzeau, D., Coll, P., Cortet, J., Cadre, E. L., d'Errico, G., Forneck, A., Gagnarli, E., Griesser, M., Guernion, M., Lagomarsino, A., Landi, S., Bissonnais, Y. L., Mania, E., Mocali, S., ... Leyer, I. (2022). Vineyard management and its impacts on soil biodiversity, functions, and ecosystem services. *Frontiers in Ecology and Evolution*.
- Goicoechea, N., Jiménez, L., Prieto, E., Gogorcena, Y., Pascual, I., Irigoyen, J. J., & Antolín, M. C. (2021). Assessment of nutritional and quality properties of leaves and musts in three local Spanish grapevine varieties undergoing controlled climate change scenarios. *Plants*.
- González-Centeno, M. R., Chira, K., Miramont, C., Escudier, J.-L., Samson, A., Salmon, J.-M., Ojeda, H., & Teissèdre, P.-L. (2019). Disease resistant bouquet vine varieties: Assessment of the phenolic, aromatic, and sensory potential of their wines. *Biomolecules*.

- Guerra, B., & Steenwerth, K. L. (2011). Influence of floor management technique on grapevine growth, disease pressure, and juice and wine composition: A review. *American Journal of Enology and Viticulture*.
- Gupta, N., Pal, R. K., Kour, A., & Mishra, S. K. (2021). Thermal unit requirement of grape (*Vitis vinifera* L.) varieties under South Western Punjab conditions. *Journal of Agrometeorology*.
- Gutiérrez-Gamboa, G., Garde-Cerdán, T., Carrasco-Quiroz, M., Pérez-Álvarez, E. P., Martínez-Gil, A. M., Álamo Sanza, M. del, & Moreno-Simunovic, Y. (2018). Volatile composition of Carignan Noir wines from ungrafted and grafted onto País (*Vitis vinifera* L.) grapevines from ten wine-growing sites in Maule Valley, Chile. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.
- Gutiérrez-Gamboa, G., Wu, Z., & de Toda, F. M. (2020). Strategies in vineyard establishment to face global warming in viticulture: A mini review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.
- Gwimbi, P. (2017). Mainstreaming national adaptation programmes of action into national development plans in Lesotho. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*.
- Harmanny, K. S., & Malek, Ž. (2019). Adaptations in irrigated agriculture in the Mediterranean region: An overview and spatial analysis of implemented strategies. *Regional Environmental Change*.
- Harutyunyan, M., & Malfeito-Ferreira, M. (2022). The rise of wine among ancient civilizations across the Mediterranean Basin. *Heritage*.
- Harvey, C. A., Rakotobe, Z. L., Rao, N. H., Dave, R., Razafimahatratra, H., Rabarijohn, R., Rajaofara, H., & MacKinnon, J. L. (2014). Extreme vulnerability of smallholder farmers to agricultural risks and climate change in Madagascar. *Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences*.
- He, L., Xu, X., Wang, Y., Chen, W.-K., Sun, R., Cheng, G., Liu, B., Wu, C., Duan, C., Wang, J., & Pan, Q.-H. (2020). Modulation of volatile compound metabolome and transcriptome in grape berries exposed to sunlight under dry-hot climate. *BMC Plant Biology*.

- Hedlund, J., Carlsen, H., Croft, S., West, C., Bodin, Ö., Stokeld, E., Jägermeyr, J., & Müller, C. (2022). Impacts of climate change on global food trade networks. *Environmental Research Letters*.
- Hertel, T. W., Burke, M., & Lobell, D. B. (2010). The poverty implications of climate-induced crop yield changes by 2030. *Global Environmental Change*.
- Hewer, M. J., & Brunette, M. (2020). Climate change impact assessment on grape and wine for Ontario, Canada's appellations of origin. *Regional Environmental Change*.
- Hu, Y. (2022). The current situation and challenges of global carbon emission governance. *Highlights in Science Engineering and Technology*.
- Huang, C., Li, N., Zhang, Z., Yuan, L., Chen, X., Wang, F., & Chen, Q. (2020). What is the consensus from multiple conclusions of future crop yield changes affected by climate change in China? *International Journal of Environmental Research and Public Health*.
- Ifeanyi-Obi, & Ekere. (2021). Assessment of climate change training needs of agricultural extension agents in Abia State, Nigeria. *South African Journal of Agricultural Extension (Sajae)*.
- Irimia, L., Patriche, C. V., Roşca, B., & Cotea, V. V. (2017). Modifications in climate suitability for wine production of Romanian wine regions as a result of climate change. *Bio Web of Conferences*.
- Isaacs, K., Snapp, S. S., Chung, K., & Waldman, K. B. (2016). Assessing the value of diverse cropping systems under a new agricultural policy environment in Rwanda. *Food Security*.
- Jobin-Poirier, E., Plummer, R., & Pickering, G. J. (2020). Climate change adaptation in the Canadian wine industry: Strategies and drivers. *Canadian Geographer / Le Géographe Canadien*.
- Jovanović-Cvetković, T., Sredojević, M., Natić, M., Grbić, R., Fotirić-Akšić, M., Ercišli, S., & Cvetković, M. (2023). Exploration and comparison of the behavior of some indigenous and international varieties (*Vitis vinifera* L.) grown in climatic conditions of Herzegovina: The influence of variety and vintage on physico-chemical characteristics of grapes. *Plants*.

- Jurt, C., Burga, M. D., Vicuña, L., Huggel, C., & Orlove, B. S. (2015). Local perceptions in climate change debates: Insights from case studies in the Alps and the Andes. *Climatic Change*.
- Karastergiou, A., Gancel, A. L., Payan, C., Christmann, M., & Teissedre, P.-L. (2023). Validation of a routine HPLC method for added fumaric acid determination in wines. *Bio Web of Conferences*.
- Keller, M. (2010). Managing grapevines to optimise fruit development in a challenging environment: A climate change primer for viticulturists. *Australian Journal of Grape and Wine Research*.
- Ketiem, P., Makeni, P. M., Maranga, E. K., & Omondi, P. (2017). Integration of climate change information into drylands crop production practices for enhanced food security: A case study of Lower Tana Basin in Kenya. *African Journal of Agricultural Research*.
- Koch, B., & Oehl, F. (2018). Climate change favors grapevine production in temperate zones. *Agricultural Sciences*.
- Köprülü, F., Mohammad Hamad, O. A., & Kiraz, A. (2023). Perceptions of Libyans towards climate change. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science (Ijees)*.
- Kunter, B. (2024). Comparison of the sugar and organic acid components of seventeen table grape varieties produced in Ankara (Türkiye): A study over two consecutive seasons. *Frontiers in Plant Science*.
- Lanari, V., Lattanzi, T., Lena, B. D., Palliotti, A., & Silvestroni, O. (2019). Vegetative development and berry growth in relation to heat accumulation in Sangiovese vines subjected to double pruning at three different times. *Bio Web of Conferences*.
- Lanari, V., Palliotti, A., Sabbatini, P., Howell, G. S., & Silvestroni, O. (2014). Optimizing deficit irrigation strategies to manage vine performance and fruit composition of field-grown 'Sangiovese' (*Vitis vinifera* L.) grapevines. *Scientia Horticulturae*.

- Lanari, V., Zacconi, F. M., Illuminati, S., Gigli, L., Canullo, G., Lattanzi, T., Dottori, E., & Silvestroni, O. (2022). Seasonal evolution impact on Montepulciano grape ripening. *Bio Web of Conferences*.
- Lazcano, C., Decock, C., & Wilson, S. G. (2020). Defining and managing for healthy vineyard soils, intersections with the concept of terroir. *Frontiers in Environmental Science*.
- Lee, H., Roehrdanz, P. R., Ikegami, M., Shepard, A. V., Shaw, M. R., Tabor, G. M., Lü, Z., Marquet, P. A., & Hijmans, R. J. (2013). Climate change, wine, and conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.
- Leeuwen, C. van, & Darriet, P. (2016). The impact of climate change on viticulture and wine quality. *Journal of Wine Economics*.
- Leeuwen, C. van, Destrac-Irvine, A., Dubernet, M., Duchêne, É., Gowdy, M., Marguerit, E., Pieri, P., Parker, A., Rességuier, L. de, & Ollat, N. (2019). An update on the impact of climate change in viticulture and potential adaptations. *Agronomy*.
- Leeuwen, C. van, Schultz, H. R., de Cortázar-Atauri, I. G., Duchêne, É., Ollat, N., Pieri, P., Bois, B., Goutouly, J.-P., Quénot, H., Touzard, J.-M., Malheiro, A. C., Bavaresco, L., & Delrot, S. (2013). Why climate change will not dramatically decrease viticultural suitability in main wine-producing areas by 2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.
- Li, H., Zhang, X., Wang, J., & Zhang, Y. (2019). Terroir suitability zoning for the six prevailing wine grape varieties in Ningxia Hui Autonomous Region (with a focus on the Helan Mountain East) of China. *Journal of Agricultural Science and Technology A*.
- Lieskovský, J., & Kenderessy, P. (2022). Degradation of traditional vineyards in Slovakia by abandonment and soil erosion: A case-study of Vráble. *Land Degradation and Development*.
- Lombard, K., Maier, B., Thomas, F. J., O'Neill, M. K., Allen, S., & Heyduck, R. (2013). Wine grape cultivar performance in the Four Corners region of New Mexico in 2010–12. *HortTechnology*.

- López, R., Portu, J., González-Arenzana, L., Garijo, P., Gutiérrez, A. R., & Santamaría, P. (2021). Ethephon foliar application: Impact on the phenolic and technological Tempranillo grapes maturity. *Journal of Food Science*.
- Lopez-Jimenez, J., Wouwer, A. V., & Quijano, N. (2022). Dynamic modeling of crop–soil systems to design monitoring and automatic irrigation processes: A review with worked examples. *Water*.
- Loyola, R., Lemes, P., Brum, F. T., Provete, D. B., & Silva Duarte, L. da. (2013). Clade-specific consequences of climate change to amphibians in Atlantic Forest protected areas. *Ecography*.
- Lu, H., Chen, W.-K., Yu, W., XianJin, B., Cheng, G., Duan, C., Wang, J., & He, F. (2022). Effect of the seasonal climatic variations on the accumulation of fruit volatiles in four grape varieties under the double cropping system. *Frontiers in Plant Science*.
- Lungo, S. D. (2017). Third center of domestication: Interaction between genetics and archaeological sciences in lands devoted to biodiversity of grapevine varieties. *Journal of Horticulture*.
- Mahmood, N., Arshad, M. U., Kaechele, H., Shahzad, M. F., Ullah, A., & Mueller, K. (2020). Fatalism, climate resiliency training and farmers' adaptation responses: Implications for sustainable rainfed-wheat production in Pakistan. *Sustainability*.
- Makwatse, K., Modie, L., Mpalo, M., & Mapitsa, C. B. (2022). Gender and equity considerations for building climate resilience: Lessons from rural and periurban Botswana. *Sustainability*.
- Malheiro, A. C., Santos, J. A., Fraga, H., & Pinto, J. G. (2010). Climate change scenarios applied to viticultural zoning in Europe. *Climate Research*.
- Masset, P. (2024). From risk to reward: The strategic advantages of diversifying grape varieties. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*.
- Meerow, S., & Stults, M. (2016). Comparing conceptualizations of urban climate resilience in theory and practice. *Sustainability*.
- Migicovsky, Z., Sawler, J., Gardner, K. M., Aradhya, M. K., Prins, B., Schwaninger, H., Bustamante, C. D., Buckler, E. S., Zhong, G. Y., Brown, P. J., & Myles, S.

- (2017). Patterns of genomic and phenomic diversity in wine and table grapes. *Horticulture Research*.
- Mills-Novoa, M., Pszczółkowski, P., & Meza, F. (2016). The impact of climate change on the viticultural suitability of Maipo Valley, Chile. *The Professional Geographer*.
- Molitor, D., Caffarra, A., Sinigoj, P., Pertot, I., Hoffmann, L., & Junk, J. (2013). Late frost damage risk for viticulture under future climate conditions: A case study for the Luxembourgish winegrowing region. *Australian Journal of Grape and Wine Research*.
- Montague, T., Graff, E., & Kar, S. (2020). Secondary bud gas exchange, growth, and fruitfulness of *Vitis vinifera* L. cultivars, ‘Grenache’ and ‘Cabernet Sauvignon’ grown on the Texas High Plains. *Viticulture Data Journal*.
- Moricca, C., Bouby, L., Bonhomme, V., Ivorra, S., Pérez-Jordà, G., Nigro, L., Spagnoli, F., Peña-Chocarro, L., Dommelen, P. van, & Sadori, L. (2021). Grapes and vines of the Phoenicians: Morphometric analyses of pips from modern varieties and Iron Age archaeological sites in the Western Mediterranean. *Journal of Archaeological Science Reports*.
- Morris, K. S., & Bucini, G. (2016). California’s drought as opportunity: Redesigning U.S. agriculture for a changing climate. *Elementa Science of the Anthropocene*.
- Mosedale, J. R., Wilson, R. J., & Maclean, I. M. D. (2015). Climate change and crop exposure to adverse weather: Changes to frost risk and grapevine flowering conditions. *Plos One*.
- Naigeon, N. (2023). DATA for decision-making in viticulture in the face of climate change: Looking beyond production issues. *Bio Web of Conferences*.
- Narita, D., Sato, I., Ogawada, D., & Matsumura, A. (2020). Integrating economic measures of adaptation effectiveness into climate change interventions: A case study of irrigation development in Mwea, Kenya. *Plos One*.
- Navrátilová, M., Beranová, M., Severová, L., Šréd, K., Svoboda, R., & Abrahám, J. (2020). The impact of climate change on the sugar content of grapes and the

- sustainability of their production in the Czech Republic. *Sustainability*, 13(1), 222.
- Nemoto, M., Hirota, T., & Sato, T. (2016). Prediction of climatic suitability for wine grape production under the climatic change in Hokkaido. *Journal of Agricultural Meteorology*.
- Nesbitt, A., Dorling, S., & Jones, R. P. (2019). Climate resilience in the United Kingdom wine production sector: CREWS-UK. *Bio Web of Conferences*.
- Nori, J., Moreno Azócar, D. L., Cruz, F. B., Bonino, M. F., & Leynaud, G. C. (2015). Translating niche features: Modelling differential exposure of Argentine reptiles to global climate change. *Austral Ecology*.
- Okada, M., Iizumi, T., Sakurai, G., Hanasaki, N., Sakai, T., Okamoto, K., & Yokozawa, M. (2015). Modeling irrigation-based climate change adaptation in agriculture: Model development and evaluation in Northeast China. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*.
- Oprescu, M. R., Biriş, S. Ş., & Nenciu, F. (2023). Novel furrow diking equipment-design aimed at increasing water consumption efficiency in vineyards. *Sustainability*.
- Oramah, C. P., & Olsen, O. E. (2021). Equity and justice in climate change adaptation: Policy and practical implication in Nigeria.
- Pérez-Álvarez, E. P., Intrigliolo, D. S., Almajano Pablos, M. P., Rubio-Bretón, P., & Garde-Cerdán, T. (2021). Effects of water deficit irrigation on phenolic composition and antioxidant activity of Monastrell grapes under semiarid conditions. *Antioxidants*.
- Pickering, K., Plummer, R., Shaw, T., & Pickering, G. J. (2015). Assessing the adaptive capacity of the Ontario wine industry for climate change adaptation. *International Journal of Wine Research*.
- Pisciotta, A., Lorenzo, R. D., Santalucia, G., & Barbagallo, M. (2018). Response of grapevine (*Cabernet Sauvignon* cv) to above ground and subsurface drip irrigation under arid conditions. *Agricultural Water Management*.

- Pons, A., Allamy, L., Schüttler, A., Rauhut, D., Thibon, C., & Darriet, P. (2017). What is the expected impact of climate change on wine aroma compounds and their precursors in grape? *Oeno One*.
- Porras, I., Macias Solé, J. M., Marcos, R., & Arasa, R. (2021). Meteorological and climate modelling services tailored to viticulturists. *Atmospheric and Climate Sciences*.
- Priyanto, Moh. W., Mulyo, J. H., & Irham, I. (2020). Did the Program Kampung Iklim lead farmers to implement more adaptation strategies? Case study of rice farmers in Sleman Regency. *Agro Ekonomi*.
- Priyanto, Moh. W., Mulyo, J. H., & Irham. (2021). Comparison of awareness and perception of climate change between Proklim and non-Proklim farmers in Sleman District. *E3S Web of Conferences*.
- Quandt, A., Neufeldt, H., & McCabe, J. T. (2017). The role of agroforestry in building livelihood resilience to floods and drought in semiarid Kenya. *Ecology and Society*.
- Ramos, M. C., Jones, G. V., & Yuste, J. (2018). Phenology of Tempranillo and Cabernet-Sauvignon varieties cultivated in the Ribera del Duero DO: Observed variability and predictions under climate change scenarios. *Oeno One*.
- Rayne, S., Forest, K., & Friesen, K. J. (2011). Projected climate change impacts on grape growing in the Okanagan Valley, British Columbia, Canada. *Nature Precedings*.
- Rijal, S. (2019). Agroforestry system: Approaches for climate change mitigation and adaptation. *Big Data in Agriculture*.
- Rusz, O. (2020). Climate change and viticulture in Tîrgu Mureş.
- Saberli, S. F., Shirmohammadi-Aliakbarkhani, Z., & Nasrabadi, H. N. (2022). Simulating wheat production potential under near-future climate change in arid regions of Northeast Iran.
- Sancho-Galán, P., Amores-Arrocha, A., Palacios, V., & Jiménez-Cantizano, A. (2020a). Identification and characterization of white grape varieties autochthonous of a warm climate region (Andalusia, Spain). *Agronomy*.

- Sancho-Galán, P., Amores-Arocha, A., Palacios, V., & Jiménez-Cantizano, A. (2020b). Preliminary study of somatic variants of Palomino Fino (*Vitis vinifera* L.) grown in a warm climate region (Andalusia, Spain). *Agronomy*.
- Sancho-Galán, P., Palacios, V., & Jiménez-Cantizano, A. (2021). Effect of grape over-ripening and its skin presence on white wine alcoholic fermentation in a warm climate zone. *Foods*.
- Santos, J. A., Fraga, H., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., Dinis, L.-T., Correia, C. M., Moriondo, M., Leolini, L., Dibari, C., Costafreda-Aumedes, S., Kartschall, T., Menz, C., Molitor, D., Junk, J., Beyer, M., & Schultz, H. R. (2020). A review of the potential climate change impacts and adaptation options for European viticulture. *Applied Sciences*.
- Savina, O. (2023). The impact of climate change on grape crops development in Western Ukraine. *Revista De La Universidad Del Zulia*.
- Schultz, H. R. (2016). Global climate change, sustainability, and some challenges for grape and wine production. *Journal of Wine Economics*.
- Schultze, S. R., & Sabbatini, P. (2022). Impact of early season temperatures in a climate-changed atmosphere for Michigan: A cool-climate viticultural region. *Atmosphere*.
- Schultze, S. R., Sabbatini, P., & Liu, L. (2016). Effects of a warming trend on cool climate viticulture in Michigan, USA. *SpringerPlus*.
- Seccia, A., Santeramo, F. G., & Nardone, G. (2015). Trade competitiveness in table grapes. *Outlook on Agriculture*.
- Seidl, R., Klonner, G., Rammer, W., Essl, F., Moreno, A., Neumann, M., & Dullinger, S. (2018). Invasive alien pests threaten the carbon stored in Europe's forests. *Nature Communications*.
- Sethuraman, G., Mohd Zain, N. A., Yusoff, S., Ng, Y. M., Baisakh, N., & Cheng, A. (2021). Revamping ecosystem services through agroecology—The case of cereals. *Agriculture*.
- Shammi, S. A., & Meng, Q. (2021). Modeling the impact of climate changes on crop yield: Irrigated vs. non-irrigated zones in Mississippi. *Remote Sensing*.

- Sheppard, S. R. J., Shaw, A., Flanders, D., Burch, S., Wiek, A., Carmichael, J., Robinson, J., & Cohen, S. (2011). Future visioning of local climate change: A framework for community engagement and planning with scenarios and visualisation. *Futures*.
- Shi, W., Wang, S., & Yang, Q. (2010). Climate change and global warming. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*.
- Silvestroni, O., Palliotti, A., Lena, B. D., Nuzzo, V., Sabbatini, P., Lattanzi, T., & Lanari, V. (2020). Effects of limited irrigation water volumes on near-isohydric 'Montepulciano' vines trained to overhead trellis system. *Acta Physiologiae Plantarum*.
- Skendžić, S., Zovko, M., Živković, I. P., Lešić, V., & Lemić, D. (2021). The impact of climate change on agricultural insect pests. *Insects*.
- Sparacio, A., Mercati, F., Sciara, F., Pisciotta, A., Capraro, F., Sparla, S., Abbate, L., Mauceri, A., Planeta, D., Corona, O., Crespan, M., Sunseri, F., & Barbagallo, M. G. (2021). Moscato Cerletti, a rediscovered aromatic cultivar with oenological potential in warm and dry areas. *Oeno One*.
- Stela, C., & Sajin, T. (2022). Green loans and eco loans in the banking sector under the conditions of climate changes. *Mest Journal*.
- Strack, T., & Stoll, M. (2021). Implication of row orientation changes on fruit parameters of *Vitis vinifera* L. cv. Riesling in steep slope vineyards. *Foods*.
- Sunyer, J. (2010). Geographical differences on the mortality impact of heat waves in Europe. *Environmental Health*.
- Suresh, D. (2024). Climate change adaptation strategies for grape cultivation in Yamanashi Prefecture of Japan. *Rural and Regional Development*.
- Taylor, B., Casey, J. P., Annamalai, S., Finch, E. A., Beale, T., Holland, W., Murphy, S. T., & Finegold, C. (2021). Minimizing pest and disease risks in uncertain climates: CABI initiatives developing new technologies and tools for outreaching early warning to farmers. *Agrirxiv*.
- Tefera, Y. (2019). Potential of agroforestry for climate change mitigation through carbon sequestration: Review paper. *Agricultural Research & Technology Open Access Journal*.

- Teixeira, A., Eiras-Dias, J. E., Castellarin, S. D., & Gerós, H. (2013). Berry phenolics of grapevine under challenging environments. *International Journal of Molecular Sciences*.
- Teklu, A., Simane, B., & Bezabih, M. (2023). Effect of climate smart agriculture innovations on climate resilience among smallholder farmers: Empirical evidence from the Choke Mountain Watershed of the Blue Nile Highlands of Ethiopia. *Sustainability*.
- Thav, S. (2023). Farmers' perceptions on the impact of climate change: Case study of the agricultural sector of Cambodia. *Apn Science Bulletin*.
- Thomas, T. S., Dorosh, P. A., & Robertson, R. D. (2020). Climate change impacts on crop yields.
- Thorlakson, T., & Neufeldt, H. (2012). Reducing subsistence farmers' vulnerability to climate change: Evaluating the potential contributions of agroforestry in Western Kenya. *Agriculture & Food Security*.
- Tito, R., Vasconcelos, H. L., & Feeley, K. J. (2017). Global climate change increases risk of crop yield losses and food insecurity in the Tropical Andes. *Global Change Biology*.
- Tong, Q., Liu, L., Zhao, Y., Kong, J., Wang, Y., Xu, X., Hilbert, G., Gomès, É., & Dai, Z. (2022). Transcriptome remodeling in response to leaf removal and exogenous abscisic acid in berries of grapevine (*Vitis vinifera* L.) fruit cuttings. *Horticulturae*.
- Tóth, A. M. (2020). Precision canopy management of the grapevine: Early defoliation and girdling. *Acta Carolus Robertus*.
- Tshikororo, M., Chauke, P. K., & Zuwarimwe, J. (2020). Institutional factors affecting farmers' decision to adapt to climate change. *Journal of Agricultural Science*.
- Tyler, S., & Moench, M. (2012). A framework for urban climate resilience. *Climate and Development*.
- Ünal, M. S., Güler, E., & Yaman, M. (2023). Changes in antioxidant and color properties of raisins according to variety and drying method. *Horticulturae*.

- Varma Arora, R. D., & Kaur, M. (2023). Research trend on climate change mitigation and resilience: Bibliometric analysis for the period 2011–2022. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
- Vecchio, R., Pomarici, E., Giampietri, E., & Borrello, M. (2022). Consumer acceptance of fungus-resistant grape wines: Evidence from Italy, the UK, and the USA. *Plos One*.
- Venios, X., Korkas, E., Nisiotou, A., & Banilas, G. (2020). Grapevine responses to heat stress and global warming. *Plants*.
- Viers, J. H., Williams, J., Nicholas, K. A., Barbosa, O., Kotze, I., Spence, L., Webb, L., Merenlender, A. M., & Reynolds, M. (2013). Viticulture: Pairing wine with nature. *Conservation Letters*.
- Vigl, L. E., Schmid, A., Moser, F., Balotti, A., Gartner, E., Katz, H., Quendler, S., Ventura, S., & Raifer, B. (2018). Upward shifts in elevation – A winning strategy for mountain viticulture in the context of climate change? *E3S Web of Conferences*.
- Vilanova, M., Genisheva, Z., Bescansa, L., Masa, A., & Oliveira, J. M. (2012). Changes in free and bound fractions of aroma compounds of four *Vitis vinifera* cultivars at the last ripening stages. *Phytochemistry*.
- Vilela, A. (2019). Use of nonconventional yeasts for modulating wine acidity. *Fermentation*.
- Villamayor-Tomás, S. (2017). Disturbance features, coordination and cooperation: An institutional economics analysis of adaptations in the Spanish irrigation sector. *Journal of Institutional Economics*.
- Vita, G. D. (2024). From roots to leaves: Understanding consumer acceptance in implementing climate-resilient strategies in viticulture. *Australian Journal of Grape and Wine Research*.
- Worku, A. (2023). Effect of climate change on food security. *Ratarstvo i Povrtarstvo*.
- Xiao, D., Zhang, Y., Bai, H., & Tang, J. (2021). Trends and climate response in the phenology of crops in Northeast China. *Frontiers in Earth Science*.
- Xu, C., Zhang, Y., Zhu, L., Huang, Y., & Jiang, L. (2011). Influence of growing season on phenolic compounds and antioxidant properties of grape berries

- from vines grown in subtropical climate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.
- Yadollahi, A. (2011). Evaluation of reduction approaches on frost damages of grapes grown in moderate cold climate. *African Journal of Agricultural Research*.
- Yamaura, K., Sakaue, S., & Washida, T. (2017). Regional and sectoral impacts of global warming and agricultural production: A case of CGE analyses. *Japanese Journal of Agricultural Economics*.
- Yan, H. K., Ma, S., Lu, X., Zhang, C. C., Ma, L., Li, K., Wei, Y. C., Gong, M. S., & Li, S. (2022). Response of wine grape quality to rainfall, temperature, and soil properties in Hexi Corridor. *HortScience*.
- Yarney, L., Ek, S., & Pk, A. (2021). Climate change and rural female farmers in Ghana: A study of the Wenchi Municipality.
- Zhang, T., Wang, J., & Teng, Y. (2017). Adaptive effectiveness of irrigated area expansion in mitigating the impacts of climate change on crop yields in Northern China. *Sustainability*.
- Zhao, Z., Sandhu, H. S., Ouyang, F., & Ge, F. (2016). Landscape changes have greater effects than climate changes on six insect pests in China. *Science China Life Sciences*.
- Zhong, C. (2016). Causes of global climate change. *International Journal of Global Warming*.
- Zhu, L., Huang, Y., Zhang, Y., Xu, C., Jiang, L., & Wang, Y. (2017). The growing season impacts the accumulation and composition of flavonoids in grape skins in two-crop-a-year viticulture. *Journal of Food Science and Technology*.
- Ziska, L. H. (2014). Increasing minimum daily temperatures are associated with enhanced pesticide use in cultivated soybean along a latitudinal gradient in the Mid-Western United States. *Plos One*.
- Zumkeller, M., Yu, R., Torres, N., Marigliano, L. E., Zaccaria, D., & Kurtural, S. K. (2022). Site characteristics determine the effectiveness of tillage and cover crops on the net ecosystem carbon balance in California vineyard agroecosystems. *Frontiers in Plant Science*.

BÖLÜM 10

MEYVE MUHAFAZASINDA POLİAMİNLERİN KULLANIMI

Dr. Öğr. Üyesi Akgül TAŞ^{1*}
Prof. Dr. Müttalip GÜNDOĞDU²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14543002>

^{1*} Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Seben İzzet Baysal Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Bolu, Türkiye. *akgulltas@gmail.com

² Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü, Bolu, Türkiye. mgundogdu@ibu.edu.tr

GİRİŞ

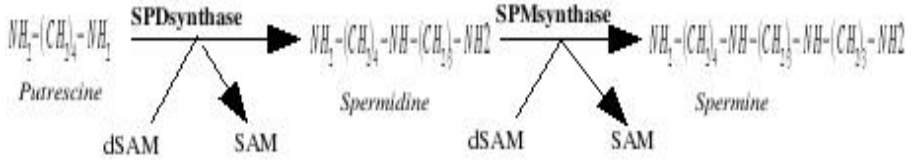
Yeryüzünde yaşayan tüm canlıların yaşamlarını sürdürebilmeleri için temel gereksinimlerin başında kuşkusuz su ve gıda ihtiyaçları gelmektedir (Elser, 2012; Mohan ve ark., 2019; Akhtar ve ark., 2021). İnsanların tükettiği gıdalar, temel olarak hayvansal ve bitkisel gıdalar şeklinde sınıflandırılmakta olup, bu sınıflar içinde yer alan her bir ürün, insan sağlığı açısından önemi nedeniyle tıpkı bir yapbozun parçası gibi birbirini tamamlayan kritik işlevlere sahiptir (López ve ark., 2018; Kyriakopoulou ve ark., 2019).

Oldukça geniş bir çeşitlilik sunan gıdalar arasında, insanların beslenmesinde önemli bir yere sahip olan bitkisel ürünlerin başında meyveler gelmektedir (Foley ve ark., 2011; Gregory ve George, 2011). Meyvelerin insan tüketimindeki yeri ve önemi, sağlık üzerindeki olumlu etkileri sayesinde tartışmasız bir şekilde güncelliğini korumaktadır (Olza ve ark., 2017; Septembre-Malaterre ve ark., 2018; Acero ve ark., 2019; Yahia ve ark., 2019; Cömert ve ark., 2020; Jiang ve ark., 2020; Mannino ve ark., 2020; Salehi ve Aghajanzadeh, 2020). Bunun yanı sıra, raf ömürleri açısından değerlendirildiğinde, çoğu meyvenin kısa sürede bozulabilir olması, kalite ve tazelik özelliklerinin korunmasında karşılaşılan temel sorunlardan biridir. Bu sorun, hem yurtiçi hem de uluslararası ticarete meyvelerin pazarlanması sürecinde önemli problemlere yol açmaktadır (Toivonen ve ark., 2014; De Venuto ve Mezzina, 2018; Harker ve ark., 2019; Lufu ve ark., 2019; Yahaya ve Mardiyya, 2019). Bu soruna çözüm bulma gerekliliği, literatürde bu

konuda birçok çalışmanın yapılmasını teşvik etmiş ve halen bu alanda araştırmalar devam etmektedir.

Bu bağlamda yapılan literatür araştırmaları, etkinliği kanıtlanmış ve bu probleme çözüm olabilecek yöntemlerden birinin, poliamin adı verilen bileşiklerin meyvelerde dışsal (eksojen) uygulamalarla kullanılması olduğunu göstermektedir (Archana ve Suresh, 2019; Zahedi ve ark., 2019; Kowaleguet ve ark., 2022; Mishra ve ark., 2022; Singh ve ark., 2022; Trivedi ve ark., 2023).

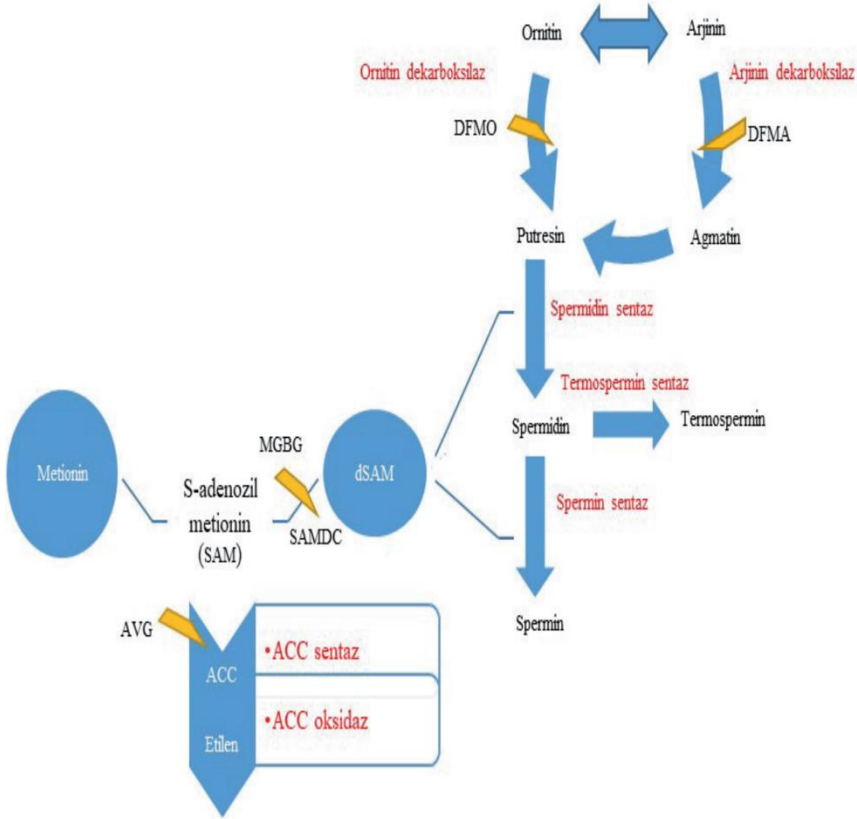
Çoğu canlı organizmada doğal olarak bulunabilen ve biyolojik mekanizmalara yabancı olmayan poliaminler, yapısal olarak alifatik nitrojen gruplarından oluşan, düşük molekül ağırlıklı biyolojik bileşiklerdir. Canlılar için büyük öneme sahip olan bu bileşiklerin başında en yaygın olarak putresin, spermidin ve spermin gelmektedir (Vikipedi, 2024) (Şekil 1).



Şekil 1. Temel poliaminler ve kimyasal bileşimleri

Belli başlı meyvelerin hasat edildikten sonra oldukça kısa süre içinde olgunlaşarak çürümeye yüz tutmaları ve bu nedenle kalite özelliklerini hızla kaybetmeleri, birçok fizyolojik olayla ilişkilendirilmektedir. Meyvelerin çabuk olgunlaşmasında rol oynayan temel süreçlerden biri,

etilen üretimidir. Bir meyvede hasat sonrası gerçekleşen etilen üretiminin ne kadar geciktirebilirse, olgunlaşma süreci de o ölçüde yavaşlatılabilir ve böylece meyveler kalite özelliklerini daha uzun süre koruyabilir. Bu konuda yapılan çeşitli araştırmalar, poliaminler ile etilen üretimi arasında meyveler üzerinde böyle bir etkiye sahip bir ilişki olduğunu göstermektedir (Guo ve ark., 2018; Liu ve ark., 2018; Chen ve ark., 2019; Killiny ve Nehela, 2020; Shukla ve ark., 2020) (Şekil 2).



Şekil 2. Bitkilerdeki poliamin biyosentez mekanizmaları (Şahin ve Örgaç, 2022)

Birçok araştırmada, poliaminlerin meyvelerde hasat sonrası depolama koşullarında eksojen olarak uygulanmasıyla, etilen üretimini büyük ölçüde yavaşlatarak meyvelerin olgunlaşma sürecini geciktirdiği ve bu sayede depolama süresini uzatarak meyve kalite özelliklerini daha uzun süre koruduğu tespit edilmiştir. Bu doğrultuda, poliaminlerin hasat sonrası meyve kalite özellikleri üzerindeki önemli etkilerini ele alan güncel literatür araştırmaları göz önünde bulundurularak, bu çalışmada poliaminlerin rolü daha ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir..

1. POLİAMİNLERİN HASAT SONRASI MEYVE KALİTE KRİTERLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Mishra ve ark. (2022), siyah erik (*Syzygium cumini* L. Skeels) üzerinde poliaminlerden putresini eksojen olarak uyguladıkları çalışmalarında, 1.0 mM dozlu putresin kullandıkları meyvelerde kontrol meyvelere göre 1.5 kat daha az ağırlık kaybı ve bozulmanın gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Singh ve ark. (2022), Kuzeybatı Hindistan'da armut meyveleri üzerinde farklı dozlu putresin kullandıkları çalışmalarında, 2.0 mM ve 3.0 mM muamele dozlu putresinli meyvelerin kontrol meyvelere göre, ağırlık kayıpları ve bozulmalarının önemli ölçüde daha az olduğunu; ayrıca meyve sertliği, çözünür katı madde içeriği (SÇKM) ve titre edilebilir asitliği (TA) gibi değerlerin ise önemli ölçüde daha da arttığını belirtmişlerdir. Kowaleguet ve ark. (2022), 'Eureka' çeşidi limonlarda putresin ve spermidinin farklı dozlarını uyguladıkları çalışmalarında, 1.0 mM dozlu putresin ve 1.0 mM dozlu spermidin kullanılan meyvelerin, kontrol meyvelere göre, önemli ölçüde daha yüksek çözünür katı madde içeriği ve titre edilebilir asitliğine sahip

olduğunu, bu sayede poliaminli meyvelerin kalite özelliklerini daha uzun sürelerde koruyabildiğini rapor etmişlerdir. Archana ve Suresh (2019), muzda farklı dozlu spermin kullandıkları çalışmalarında, 5.0 mM dozlu spermin muameleli meyvelerde, kontrol meyvelere göre, meyve ağırlık kaybının, meyve yumuşamasının ve renk değişiminin önemli ölçüde daha az olduğunu, ayrıca, poliaminli meyvelerde biyokimyasal kalite özelliklerinde değişimlerin daha yavaş gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Ennab ve ark. (2020), ‘Murcott’ çeşidi mandarinada 50 ve 100 ppm dozlu putresin muameleleri yaptıkları çalışmalarında, her iki doz putresinli meyvelerde, kontrol meyvelere göre, önemli ölçüde ağırlık kayıplarının ve çürüme oranlarının azaldığını tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, ayrıca, putresin kullanılan meyvelerin önemli derecede daha fazla çözünür katı madde miktarı, titre edilebilir asitlik ve askorbik asit içerdiğini de vurgulamışlardır.

Fawole ve ark. (2020), narda farklı dozlu putresin kullandıkları çalışmalarında, 2 mmol/L muamele dozlu putresinli meyvelerde, kontrol meyvelere göre, önemli ölçüde meyve sululuğu ve gevrekliğinin en iyi şekilde korunduğunu, böylece bu meyvelerde, putresinin meyve depolanma süresi ve kalitesini arttırdığını söylemişlerdir. Noori ve ark. (2024), ‘Shahroudi’ çeşidi üzümde putresin ve spermidin poliaminlerini kullandıkları çalışmalarında, putresin ve spermidinin depolama sırasında üzümde meyve sertliği, ağırlık kaybı, antosiyanin içeriği, titre edilebilir asitlik, C vitamini ve toplam çözünür kuru madde miktarı gibi özellikleri koruduğunu, yaşlanmayı geciktirdiğini ve depolama ömrünü uzattığını

bildirmişlerdir. Gundogdu ve ark. (2023), erik üzerinde 0.5, 1 ve 1.5 mM dozlarında spermidin kullandıkları çalışmalarında, 1 ve 1.5 mM dozlu spermidinli meyvelerde, kontrol meyvelere göre, polifenollerin ve organik asitlerin önemli ölçüde daha iyi korunduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar, ek olarak, spermidinin erik meyvelerinin tat ve sağlığını koruyan bir metabolik koruyucu olduğunu da vurgulamışlardır. Orman (2023), şeftali üzerinde farklı dozlu spermidin uygulamaları yaptığı çalışmasında, 1.0 mM doz kullandığı spermidinli meyvelerde, kontrol meyvelere göre, meyve eti sertliği ve ağırlık kayıpları özelliklerinin daha iyi korunduğunu belirtmiştir. Mabunda ve ark. (2023), ‘Solo’ çeşidi papayada farklı dozlu putresin kullandıkları çalışmalarında, 2 ve 3 mM putresin dozları kullanılan papaya meyvelerinde, kontrol meyvelere göre, meyve ağırlık ve sertlik kayıplarının önemli ölçüde daha az olduğunu bildirmişlerdir.

SONUÇ

Meyvelerin, insan sağlığının korunmasında oldukça önemli bir rolü bulunduğu herkesçe bilinen bir gerçektir. İnsanlık tarihinden bu yana meyveler hem yurt içi hem de yurt dışındaki birçok tüketicilere mevcut kalite özellikleri bozulmadan pazarlanabilmektedir. Ancak, çoğu meyvelerde hasattan itibaren depolama süreçlerinde hızlıca kalite özelliklerinin kaybedilmesiyle meyve bozulma ve çürüme gerçekleşmektedir. Bu sorun, meyve üreticileri ve tüketicilerine, hem maddi açıdan hem de zaman kaybı açısından ciddi kayıplar verdirmektedir. Buna istinaden, bu probleme çözüm veya çözümler üretebilmek amacıyla birçok bilimsel araştırmalar yapılmış olup bu

alışmalar halen de devam etmektedir. Konuyla ilgili olarak, yapılmış literat¼r araştırmalarında, meyveler ¼zerinde hasat sonrasında ‘poliaminli’ bileşiklerin eksojen olarak kullanımının, mevcut sorun için bir z¼m olduğu kanaatine varılmıştır. Poliaminler, canlıların çoğunda bulunan ve onların mekanizmalarına yön veren önemli bileşiklerdendir. Bu bileşikler arasında yaygın olarak; putresin, spermidin ve spermin gibi bileşikler bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacına uygun olarak daha detaylı bir şekilde irdelenen g¼ncel literat¼r çalışmalarına göre, bu bileşiklerin kullanılması, özellikle de erik, armut, limon, muz, mandalina, nar, ¼z¼m, şeftali ve papaya gibi çabuk bozulabilen meyvelerde; meyve sertliği, ağırlık kaybı, antosiyanin içeriği, titre edilebilir asitlik, C vitamini ve toplam z¼n¼r kuru madde miktarı gibi meyve kalite özelliklerinin korunmasını sağlamış ve böylece meyvelerin depolanma s¼releri ve raf m¼rleri daha da artmıştır. Dolayısıyla, literat¼r çalışmalarında, poliaminlerin bu olumlu özelliği sayesinde, hasat sonrasında meyveler ¼zerinde kullanımları nerilmış ve bu bileşikler oldukça umut verici bulunmuştur.

KAYNAKÇA

- Acero, N., Gradillas, A., Beltran, M., García, A., & Mingarro, D. M. (2019). Comparison of phenolic compounds profile and antioxidant properties of different sweet cherry (*Prunus avium* L.) varieties. *Food Chem.*, 279: 260-271.
- Akhtar, N., Ishak, M., Ahmad, M., Umar, K., Yusuff, M. M., Anees, M., Qadir, A., & Almanasir, Y. A. (2021). Modification of the water quality index (WQI) process for simple calculation using the multi-criteria decision-making (MCDM) method: A review. *Water*, 13: 905.
- Archana, T. J., & Suresh, G. J. (2019). Putrescine and spermine affects the postharvest storage potential of banana cv. grand naine. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 8(01): 3127-3137.
- Chen, D., Shao, Q., Yin, L., Younis, A., & Zheng, B. (2019). Polyamine function in plants: metabolism, regulation on development, and roles in abiotic stress responses. *Front. Plant Sci.*, 9: 1945.
- Cömert, E. D., Mogol, B. A., & Gökmen, V. (2020). Relationship between color and antioxidant capacity of fruits and vegetables. *Curr. Res. Food Sci.*, 2: 1-10.
- De Venuto, D., & Mezzina, G. (2018). Spatio-temporal optimization of perishable goods' shelf life by a pro-active WSN-based architecture. *Sensors*, 18: 2126.
- Elsner, J. J. (2012). Phosphorus: a limiting nutrient for humanity? *Current Opinion in Biotechnology*, 23(6): 833-838.
- Ennab, H. A., El-Shemy, M. A., Alam-Eldein, & S. M. (2020). Salicylic acid and putrescine to reduce post-harvest storage problems and maintain quality of murcott mandarin fruit. *Agronomy*, 10(1): 115.
- Fawole, O. A., Atukuri, J., Arendse, E., & Opara, U. O. (2020). Postharvest physiological responses of pomegranate fruit (cv. Wonderful) to exogenous putrescine treatment and effects on physico-chemical and phytochemical properties. *Food Science and Human Wellness*, 9(2): 146-161.
- Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., ... & Zaks, D. P. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), 337-342.

- Gregory, P. J., & George, T. S. (2011). Feeding nine billion: The challenge to sustainable crop production. *Journal of Experimental Botany*, 62: 5233-5239.
- Gundogdu, M., Güler, E., Ağlar, E., Arslan, T., Kan, T., & Çelik, K. (2023). Use of spermidine to preserve organic acids, polyphenols, and quality of cold stored plum fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*, 121: 105411.
- Guo, J., Wang, S., Yu, X., Dong, R., Li, Y., Mei, X., & Shen, Y. (2018). Polyamines regulate strawberry fruit ripening by abscisic acid, auxin, and ethylene. *Plant physiology*, 177(1), 339-351.
- Harker, F. R., Feng, J., Johnston, J. W., Gamble, J., Alavi, M., Hall, M., & Chheang, S.L. (2019). Influence of postharvest water loss on apple quality: The use of a sensory panel to verify destructive and non-destructive instrumental measurements of texture. *Postharvest Biology and Technology*, 148: 32-37.
- Jiang, Q., Zhang, M., & Xu, B. (2020). Application of ultrasonic technology in postharvested fruits and vegetables storage: A review. *Ultrason. Sonochem.*, 69: 105261.
- Killiny, N., & Nehela, Y. (2020). Citrus polyamines: structure, biosynthesis, and physiological functions. *Plants*, 9: 426.
- Kowaleguet, M. G., Chen, F. Y., Shi, W. L., Wu, Z. B., Wang, L. Y., Ban, Z. J., Liu, L. L., Wang, L. J., & Wu, Y. F. (2022). Exogenous polyamines alleviate chilling injury of Citrus limon fruit. *International Food Research Journal*, 29(3): p698.
- Kyriakopoulou, K., Dekkers, B., & Van Der Goot, A. J. (2019). Chapter 6 - Plant-Based Meat Analogues, Editor(s): Charis M. Galanakis, Sustainable Meat Production and Processing, *Academic Press*, pp. 103-126.
- Liu, T., Huang, B., Chen, L., Xian, Z., Song, S., Chen, R., & Hao, Y. (2018). Genome-wide identification, phylogenetic analysis, and expression profiling of polyamine synthesis gene family members in tomato. *Gene*, 661, 1-10.
- López, D. N., Galante, M., Robson, M., Boeris, V., & Spelzini, D. (2018). Amaranth, quinoa and chia protein isolates: Physicochemical and structural properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109: 152-159.

- Lufu, R., Ambaw, A., & Opara, U. L. (2019). The contribution of transpiration and respiration processes in the mass loss of pomegranate fruit (cv. Wonderful), *Postharvest Biology and Technology*, 157: 110982.
- Mabunda, E., Mafeo, T., Mathaba, N., Buthelezi, D., & Satekge, T. (2023). Effects of putrescine postharvest dips and refrigerated storage temperature on quality attributes and shelf-life of 'Solo' papaya fruit. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 6(2): 193-206.
- Mannino, G., Perrone, A., Campobenedetto, C., & Schittone, A. (2020). Phytochemical profile and antioxidative properties of *Plinia trunciflora* fruits: A new source of nutraceuticals. *Food Chem.*, 307: 125515.
- Mishra, S., Barman, K., Singh, A. K., & Kole, B. (2022). Exogenous polyamine treatment preserves postharvest quality, antioxidant compounds and reduces lipid peroxidation in black plum fruit. *South African Journal of Botany*, 146: 662-668.
- Mohan, K., Ravichandran, S., Muralisankar, T., Uthayakumar, V., Chandirasekar, R., Seedeve, P., Abirami, R. G., & Rajan, D. K. (2019). Application of marine-derived polysaccharides as immunostimulants in aquaculture: A review of current knowledge and further perspectives. *Fish Shellfish Immun.*, 86: 1177-1193.
- Noori, A. K., Akberpour, F. V., Alizadeh, M., & Abadi, M. H. (2024). Investigating the effect of postharvest application of putrescine and spermidine on preserving quantitative and qualitative properties of grape cv. Shahroudi. *Journal for Research in Applied Sciences and Biotechnology*, 3(2): 32-38.
- Olza, J., Aranceta-Bartrina, J., González-Gross, M., Ortega, R. M., Serra-Majem, L., Varela-Moreiras, G., & Gil, Á. (2017). Reported dietary intake and food sources of zinc, selenium, and vitamins A, E and C in the Spanish population: findings from the ANIBES study. *Nutrients*, 9(7), 697.
- Orman, E. (2023). Effect of postharvest spermidine treatments on quality and biochemical properties of nectarine fruits. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 47(2): 6.

- Salehi, F., & Aghajanzadeh, S. (2020). Effect of dried fruits and vegetables powder on cakes quality: A review. *Trends Food Sci. Technol.*, 95: 162-172.
- Septembre-Malaterre, A., Remize, F., & Poucheret, P. (2018). Fruits and vegetables, as a source of nutritional compounds and phytochemicals: changes in bioactive compounds during lactic fermentation. *Food Research International*, 104: 86-99.
- Shukla, V., Fatima, T., Goyal, R. K., Handa, A. K., & Mattoo, A. K. (2020). Engineered ripening-specific accumulation of polyamines spermidine and spermine in tomato fruit upregulates clustered C/D box snoRNA gene transcripts in concert with ribosomal RNA biogenesis in the red ripe fruit. *Plants*, 9: 1710.
- Singh, V., Jawandha, S. K., Gill, P. P. S., & Singh, D. (2022). Preharvest putrescine application extends the shelf life and maintains the pear fruit quality. *International Journal of Fruit Science*, 22(1): 514-524.
- Şahin, G., & Öргеç, M. (2022). Güncel bir bakış açısıyla poliaminlerin bitki büyüme ve gelişimi üzerine etkileri. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 9(2): 255-264.
- Toivonen, P. M. A., Mitcham, E. J., & Terry, L. A. (2014). Post-harvest care and the treatment of fruits and vegetables. *Springer Science + Business Media*, 465-483.
- Trivedi, C., Mehta, K., & Panigrahi, J. (2023). Induction of extended shelf-life of cucumber by polyamines. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 101(1): 27-34.
- Vikipedi (2024). Özgür Ansiklopedi. Available online: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Poliamin> (Erişim Tarihi 10 Mayıs 2024).
- Yahaya, S. M., Mardiyya, A. Y. (2019). Review of post-harvest losses of fruits and vegetables. *Biomed. J. Sci. Tech. Res.*, 13: 10192-10200.
- Yahia, E. M., García-Solís, P., & Celis, M. E. M. (2019). Contribution of fruits and vegetables to human nutrition and health postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables. Elsevier, Amsterdam, Netherlands.

Zahedi, S. M., Hosseini, M. S., Karimi, M., & Ebrahimzadeh, A. (2019). Effects of postharvest polyamine application and edible coating on maintaining quality of mango (*Mangifera indica* L.) cv. Langra during cold storage. *Food Science & Nutrition*, 7(2), 433-441.

B¼L¼M 11

PİSATİN MOLEK¼L¼N¼N *Fusarium oxysporum*'A KARŞI ANTİFUNGAL POTANSİYELİNİN DOCKING İLE *İN SİLİCO* DEĞERLENDİRMEŞİ

Dr. Serap DEMİREL^{1*}
Dr. Öğr. Üyesi Fatih DEMİREL²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14543004>

^{1*} Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fak¼ltesi, Molek¼ler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Van, Türkiye. *serap_comart@hotmail.com

² Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fak¼ltesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Iğdır, Türkiye. drfdemirel@gmail.com

GİRİŞ

Rizosfer terimi ilk olarak Hiltner tarafından tanımlanmıştır. Hiltner, bunu kökün etkilediği toprak bölmesi olarak tanımlamıştır (Hiltner, 1904). Rizosfer, mikrobiyal çeşitlilik (Hacquard ve ark., 2015) bakımından çevresindeki toplu topraktan ve bitki endofitik bölgesinden farklıdır ve üyeleri kök eksüdatlarının salınımını etkiler. Kök eksüdatları, yararlı mikropların çekilmesi de dahil olmak üzere mikrobiyal topluluk yapısının şekillenmesinden sorumludur (Zhalnina ve ark., 2018; Korenblum ve ark., 2020). Bitki köklerini başarıyla kolonize ettikten sonra, yararlı mikroplar besin edinimi, bitki zindeliğinin iyileştirilmesi ve patojen kolonizasyonunun inhibisyonu için önemli olan proteinler ve ikincil metabolitler salgılamaktadır (Pieterse ve ark., 2014; Yu ve ark., 2019). Bitkiler ve toprak mikroorganizmaları, oldukça uzun bir süredir birbirleriyle yakın yaşıyor ve birlikte yaşam koşullarına adapte oluyorlar; bu süre zarfında her ikisi de birbirleri tarafından oluşturulan ve salınan sinyal moleküllerine maruz kalmaktadırlar (Lyu ve ark., 2021). Bitkiler ise köklerinden çeşitli kimyasal yapıya sahip bazı aktif metabolitler salgılamakta ve rizosferdeki mikrobiyal toplulukların şekillenmesine yardımcı olmaktadır (Papenfort ve Bassler, 2016). Bitki-mikrop etkileşimi yalnızca bitki üretkenliğini korumakla kalmayıp, aynı zamanda sağlıklı bir ekosistemi destekleyerek küresel gıda güvenliğini de sağlamaktadır (Sati ve ark., 2022).

Domates (*Solanum lycopersicum*), Solanaceae familyasına aittir ve dünyanın en popüler sebzelerinden biri olarak kabul edilmektedir

(Pritesh ve ark., 2011). Dünya çapında yaygın olarak kullanılan en önemli tropikal sebze ürünüdür (Hadian ve ark., 2011). Yerel pazar için yüksek değerli bir bahçe ürünüdür ve hem kırsal hem de kentsel nüfus için daha iyi beslenme ve geçim kaynağına katkıda bulunan önemli bir diyet bileşenidir (Waiganjo ve ark., 2006). Meyveler salatalarda taze olarak kullanılır veya sebze olarak pişirilir, domates salçası (püre), domates sosu, ketçap, meyve suyu olarak işlenmiş formda ve ayrıca kurutulabilir. A ve C vitaminleri açısından zengindir ve prostat kanseri, kalp ve yaşa bağlı hastalıkların görülme sıklığını azalttığı bilinen bir gıda bileşeni olan likopen içerdiği için önem kazanmaktadır (Wu ve ark., 2022).

Domates oldukça uyumlu olmasına rağmen 15 °C - 25 °C optimum sıcaklıklara sahip sıcak koşullarda iyi büyümektedir. Yüksek nem ve sıcaklıklar meyve tutumunu ve verimi azaltmaktadır. Çok düşük sıcaklıklar renk oluşumunu ve olgunlaşmayı geciktirirken, 30 °C'nin üzerindeki sıcaklıklar meyve tutumunu, likopen gelişimini ve lezzeti engellemektedir. Domates, düşük ila orta yağışlı ve sezon dışında ek sulama yapılan koşullarda en iyi şekilde büyümektedir. Islak koşullar hastalık saldırılarını artırır ve meyve olgunlaşmasını etkilemektedir. Domatesler, organik madde açısından zengin, iyi drene edilmiş ve pH aralığı 5-7,5 olan çok çeşitli toprak tiplerinde iyi gelişmektedir (Waiganjo ve ark., 2006). Domates bitkileri iyi drene edilmiş ve organik maddeyle bolca iyileştirilmiş toprağı tercih etmektedir. Toprak iyi nem tutma kapasitesine sahip olmalıdır. Deniz seviyesinden 1000 m ila 2000 m arasındaki yükseklik domates yetiştiriciliği için uygundur (Robert,

2005). Ancak, domatesin verimliliğini ve kalitesini etkileyen bir¼ok kısıtlama vardır ve bunlar arasında hastalıklar ¼nemli bir rol oynamaktadır (Pritesh ve ark., 2011). Domatesin en yaygın hastalıkları arasında erken yanıklık, antraknoz, bakteriyel solgunluk, bakteriyel kanser, domates lekeli solgunluğu, verticillium solgunluğu ve fusarium solgunluğu bulunmaktadır (Kumar ve ark., 2018). Domates Fusarium solgunluğu, d¼nya ¼apında hem tarlada hem de serada yetiştirilen domateslerde en ¼nemli domates hastalıklarından biri olarak kabul edilmektedir (Abdel-Monaim, 2012; Amini ve ark., 2010). Bu fungusun neden olduğu hastalık, solmuş bitkiler, sararmış yapraklar ve minimal/azalmış veya hatta tam kayıp/yok ¼r¼n verimi ile karakterizedir (Srinivas ve ark., 2019). En az 32 ¼lkenin hastalığı bildirdiği ve ¼zellikle sıcak iklime sahip ¼lkelerde şiddetli semptomlara neden olduğu rapor edilmiştir (Bawa, 2016). Fusarium fungusu, d¼nyanın t¼m ¼nemli domates yetiştirme b¼lgelerinde bulunan bir domates bitkisi patojenidir (Suárez-Estrella ve ark., 2007) ve ¼ç t¼r eşeysiz spor ¼retir; mikrokonidya, makrokonidya ve klamidosporlar (Arios, 1988). *Fusarium oxysporum*'un bazı suşları patojenik değildir ve hatta patojenik suşların b¼y¼mesini antagonize edebilir ve biyolojik ajan olarak kullanılabilir (Fravel ve ark., 2003).

Domateste Fusarium solgunluğunun kontrol¼, bitki canlılığını ve meyve kalitesi ve miktarını korumak a¼ısından ¼nemlidir. Fusarium solgunluğu Borrero ve ark. (2006), Elmer (2006) ve L'Haridon ve ark. (2011)'a g¼re kontrol¼ zor bir hastalık olmasına rağmen, bu fungal patojeni kontrol etmek i¼in ¼ok sayıda strateji ¼nerilmiřtir (Biondi ve

ark., 2004; Ahmed, 2011). Ancak, hastalığı kontrol etme girişimleri, esas olarak yeni patojenik ırkların ortaya çıkması nedeniyle sınırlı bir başarı elde edilmiştir (Silva ve ark., 2005). Hastalığın kontrolünde kullanılan belgelenmiş yöntemler arasında kültürel, biyolojik, direnç kullanımı, kimyasal (Pottorf, 2006) ve doğal ürünlerin kullanımı (Kimaru ve ark., 2004) yer almaktadır. *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*: *Fr. f. sp. lycopersici* (Sacc.) W.C. Snyder & H.N. Hansen (FOL) ve domateste taç ve kök çürümesine neden olan türün bir başka formu olan *F. oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici* (FORL), dünya çapında domates de verim ve kaliteyi tehdit etmektedir (Jones ve Woltz, 1981). Özellikle seralarda, poli tünellerde ve Türkiye'nin batı bölgesindeki tarlalarda, bu patojenleri kontrol etmek için fumigantlar ve/veya toprak sterilizasyonu veya metil bromür alternatifleri kullanılmasına rağmen domates üretim alanlarında hastalık görülmeye devam etmektedir (Baysal ve ark., 2009).

Mitogenle aktive olan protein (MAP) kinaz kaskadları, çeşitli hücre dışı sinyallerin iletilmesinde, büyüme ve farklılaşma süreçlerinin düzenlenmesinde önemli roller oynamaktadır. MAP kinaz kaskadları, bir MAP kinaz kinaz kinazı (MAPKKK), bir MAP kinaz kinazı (MAPKK) ve korunan treonin ve tirozin kalıntılarının çift fosforilasyonu ile aktive edilen bir MAP kinazı (MAPK) içerir (Rispaill ve ark., 2009). Tomurcuklanan maya *Saccharomyces cerevisiae*'de, beş ayrı MAP kinazından oluşan bir sinyal yolu tanımlanmış ve çiftleşmeyi, invaziv büyümeyi, hücre duvarı bütünlüğünü, ozmoregülasyon stres yanıtını ve askospor oluşumunu düzenlediği gösterilmiştir (Zeng ve

ark., 2012). İnsan patojeni *Aspergillus fumigatus*'ta, hücre duvarı bütünlüğünü, oksidatif stres yanıtını, demir adaptasyonunu, yapışmayı, virülansı ve sekonder metabolizmanın biyosentezini düzenleyen yalnızca üç MAP kinazı vardır (Jain ve ark., 2011; Valiante ve ark., 2009). *Magnaporthe oryzae*'de benzer şekilde, üç MAP kinazı appressorium oluşumu, patojenite, enfeksiyöz büyüme, konidiasyon, hücre duvarı bütünlüğü ve oksidatif stres yanıtının modülasyonunda rol oynamaktadır (Zhao ve ark., 2007). *Fusarium graminearum*'da, MAP kinazı MGVI dışı doğurganlığı, heterokaryon oluşumu ve bitki enfeksiyonu için gereklidir, ancak konidiasyon için gerekli değildir (Hou ve ark., 2002). *Alternaria alternata*'da, MAP kinazı AaSLT2 konidiasyonu, virülansı ve toksin ve melanin üretimini yönetir (Yago ve ark., 2011). *Coniothyrium minitans*'ta, hücre duvarı bütünlüğünde rol oynayan CmBck1 ve CmSl2 kinaz genlerinin silinmesi sırasıyla konidiasyonu ve mikoparazitizmi etkilemektedir (Zeng ve ark., 2012). Yukarıdaki bulgular, MAP kinaz sinyal mekanizmasının fungus fizyolojisindeki önemini vurgulamakla birlikte, farklı fungus türlerinde farklı özellikleri düzenleyebileceğini de düşündürmektedir.

1864 yılında Rus mikolog M. Woronin, *Ascobolus pulceherrimus* fungusundaki belirgin bir organel tipinin özelliklerini bildirmiştir (Woronin, 1864). Hifal bölmeleri ayıran septumun her iki tarafında birkaç tane olmak üzere yüksek derecede kırıcı parçacıklar tanımlanmıştır. Sonraki 135 yılda Buller (1933) tarafından Woronin cisimcikleri olarak adlandırılan bu organeller 50'den fazla fungus türünde tanımlanmıştır; ancak hücresel kökenleri ve biyokimyasal

bileşimleri belirsizliğini korumuştur. Bunlar filamentli Ascomycotina, örn. *Neurospora crassa* ve *Aspergillus nidulans* ve filamentli funguslar olan Deuteromycotina ile sınırlı gibi görünmekteydi (Markham, 1994). Woronin cisimcikleri, filamentli fungusların karakteristik bir büyüme yönü için gerekli görülmüş ve bu organizmalar, çekirdekler gibi büyük organeller de dahil olmak üzere sitoplazmanın bölmeden bölmeye akabildiği, bölmeleri ayıran septalardaki küçük gözeneklerden geçebildiği geniş hif ağları oluşturmaktadır. Hifler hasar gördüğünde, Woronin cisimcikleri birkaç saniye içinde septum gözeneklerini tıkamış gibi görünmektedir (Collinge ve Markham, 1985). Doğadaki funguslar rüzgar, yağmur, böcekler ve diğer hayvanlardan sürekli fiziksel hasara maruz kaldığı için sitoplazma kaybını önleyen bir mekanizma şarttır (Bartnicki-Garcia ve Lippman, 1972). Woronin cisimlerinin doğasıyla ilgili bilgilerin çoğu mikroskopik analizlerden elde edilmiştir. Küçük boyutları ışık mikroskoplarının çözünürlük sınırına yakın olduğundan, yalnızca septalara yakın refraktil cisimler olarak tanımlanmıştır. Elektron mikrografilerinde, genellikle tek bir zarla bağlı, 150 ila 500 nm elektron yoğun organeller olarak tanımlanırlar. Çeşitli türlerde, her septumda üç ila altı tane görülmüştür (Brenner ve Carroll, 1968; Collinge ve ark., 1978). Woronin cisimcikleri (WB'ler), filamentli funguslara özgü peroksizomla ilişkili organellerdir ve burada hücrel yaralanmaya yanıt olarak septal gözeneği kapatma işlevi görürler (Markham ve Collinge, 1987). Bu organel, peroksizom matrisine yerleşmek için peroksizom hedefleme sinyali 1'i (PTS1) kullanan funguslara özgü bir protein olan HEX üzerinde merkezlenirler (Jedd ve Chua, 2000; Managadze ve ark.,

2007), burada katı bir mikron ölçeğinde protein topluluğu üretmek için kendi kendine bir araya gelirler (Jedd ve Chua, 2000; Yuan ve ark., 2003). Hex delesyon mutantlarında (Jedd ve Chua, 2000; Tenney ve ark., 2000; Soundararajan ve ark., 2004; Maruyama ve ark., 2005) veya kendi kendine birleşmeyi bozan hex mutantlarında (Yuan ve ark., 2003), hifler hücrel yaralanmadan sonra protoplazmayı sızdırmaktadır ve ayrıca bitki patojeni *Magnaporthe grisea*'nın (Soundararajan ve ark., 2004) bozulmuş invaziv büyümesi de dahil olmak üzere çeşitli ikincil kusurlar göstermektedir. Bu nedenle, WB'ler fungus hiflerinin benzersiz hücrel mimarisini destekleyen önemli bir adaptif işlevde rol aldığı düşünülmektedir.

Kök salgılarının bitkiler ve toprak organizmaları arasındaki etkileşimin düzenleyicileri olarak önemli bir rol oynadığına inanılmaktadır (Bais ve ark., 2006). Bitkiler, rizosferin besin kalitesini artıran ve birçok mikroorganizmanın gelişimini destekleyen büyük miktarlarda organik asit ve amino asit salgılamaktadır (Bais ve ark., 2006). Bitkiler ayrıca rizosfer organizmalarını modüle edebilen DNA, proteinler, yüksek moleküler ağırlıklı moleküller, fenolik bileşikler ve diğer ikincil metabolitleri de salgılamaktadır (Bais ve ark., 2006; De La Pena ve Vivanco, 2010). Örneğin, baklagil kökleri tarafından salgılanan flavonoidler ve strigolaktonlar, sırasıyla azot sabitleyici rizobakteriler ve arbüsküler mikorizal funguslarla simbiyotik etkileşimlerin erken sinyalleri olarak önemli roller oynayabilirler (Bais ve ark., 2006). Domates ve bezelye de dahil olmak üzere farklı mahsul türlerinden gelen kök eksüdatlarının *F. oxysporum* büyümesini ve çimlenmesini

uyardığı gösterilmiştir, ancak uyarıcı sinyalin doğası hala bilinmemektedir (Steinkellner ve ark., 2005). Buna karşılık, bazı dirençli mercimek ve biber çeşitlerinin eksüdatlarının *F. oxysporum* çimlenmesini engellediği gösterilmiştir. Bu durumda, inhibisyon belirli amino asitlerin ve belirlenmemiş fenolik bileşiklerin eksüdatasyonu ile ilişkili olduğu öne sürülmüştür (Stevenson ve ark., 1995).

Herhangi bir proteinin işlevini belirlemek adına, bilgisayar ile hesaplamalı yaklaşımların son derece yararlı araçlar olduğu gösterilmiştir. Bu yaklaşımlar araştırmaya harcanan zaman ve para miktarını azaltmış ve düşük molekül ağırlıklı moleküllerle istenen etkileşimleri inceleme sürecini hızlandırmıştır. Büyük kimyasal kütüphanelerden yeni biyoaktif bileşikleri bulmak için moleküler docking *in silico* metodoloji yaklaşımlarının en etkililerinden biri olduğu gösterilmiştir. Her moleküle yerleştirme anındaki bağlanma eğilimlerine göre bir bağlanma puanı belirlenmektedir. Bu puan, hedef bağlanma yerindeki her molekülün baskın bağlanma modunun analiz edilmesiyle belirlenmektedir. Moleküler docking, *in vitro* yaklaşımlardan daha fazla zaman ve para açısından verimli bir yöntemdir.

Yukarıda verilen bilgiler ışığında bu çalışmada, *F. oxyporyum* fungusun gelişim süreçlerinde önemli rol oynayan worriyon cisimecikleri ve MAPK proteini ile fungusların inhibisyonunda etkili olan pisatin molekülünün interaksyonu *in silico* moleküler docking yöntemiyle araştırılması hedeflenmiştir.

1. YÖNTEM

Worrion body proteini (NCBI: KNA98816.1) ve mitogen activated protein kinase (NCBI: QKD49639.1) proteinlerinin üç boyutlu (3B) yapısı, “Swiss-Model” homoloji modelleme aracı kullanılarak oluşturulmuştur (Tablo 1). Oluşturulan modellerin model kalitesi Ramacdan plot ile analiz edildikten sonra pdb. uzantılı dosyalar docking çalışmaları için kullanılmıştır. *F. oxyporyum* üzerinde inhibisyon etkisi gösterilmiş olan bezelye kökü eksüdatlarında bulunan pisatinin 3D boyutlu yapısı SDF formatında PubChem’den elde edilmiştir (PubChem ID: 101689). UCSF Chimera programı ilave ligandları, metalleri ve iyonları ortadan kaldırarak hedef protein yapısını geliştirmek için kullanılmıştır. Bu program, birçok kökenden türetilen kimyasal kütüphanelerin görüntülenmesini, profillemesini ve analizini mümkün kılarak, bileşik seçimi metodolojilerinin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır (Demirel, 2021). Ligandın enerjisi UCSF Chimera yazılımı tarafından azaltılmıştır. UCSF Chimera yazılımı (sürüm 1.16), Gasteiger’in yöntemlerini kullanarak ligand(lar)ı sıfır net yük ile optimize etmek için kullanılmıştır. Sonuç olarak, optimize edilmiş ligandlar moleküler yerleştirme için "mol2 formatında" saklanmıştır. Seçilen pisatin bileşiği, UCSF Chimera programı (sürüm 1.16) kullanılarak *F. oxyporium*’un belirli hedef proteinlerine karşı interaksyonunu belirlemek için docking işlemine tabi tutulmuştur.

2. BULGULAR VE TARTIŞMA

Fusarium oxysporum, birçok üründe şiddetli vasküler solgunluk hastalıklarına neden olan eşeysiz bir askomiset fungusudur (Booth, 1977). *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.) W.C. Snyder ve H.N. Hans, Hyphomycetes sınıfında toprak kökenli bir bitki patojeni olup, özellikle domateste *Fusarium* solgunluğuna neden olmaktadır. Dünya çapında 100'den fazla *Fusarium* vasküler solgunluk hastalığı vardır. Hastalıklara neden olmasının yanı sıra, patojen kök dokularını öldürdükten sonra zararsız endofitler olarak köklerin dış hücrelerini kolonize ederler ve diğerleri toprakta saprofit olarak yaşarlar (Burgess ve ark., 2008). Bu hastalık ilk olarak 1895 yılında İngiltere'de G.E. Massee tarafından tanımlanmıştır. Patojenin üç fizyolojik ırkı vardır (1, 2 ve 3, bundan sonra r1, r2 ve r3) ve baskın ırk-spesifik direnç genleri taşıyan test bitkileri üzerindeki spesifik patojeniteleriyle ayırt edilmektedir (Cai ve ark., 2003). Bitki hastalıklarını kontrol etmek için alternatif ve çevresel olarak güvenli yöntemler bulmak amacıyla birçok araştırma çabası yürütülmüş olsa da (Agbenin ve ark., 2004), ürünlerde *Fusarium* solgunluğunun kontrolü için bitkisel ürünlerin kullanımı sınırlıdır (Agbenin ve Marley, 2006). Kimaru ve ark. (2004) tarafından yapılan testler, *Azadirachta indica* (Neem) tozunun domateslerde *Fusarium* solgunluğuna karşı fungistatik etkiye sahip bileşenler içerdiğini ortaya koymuştur. Benzer bulgular, Coventry ve Allan (2001) tarafından da bildirilmiştir; neem özlerinin bazı fungal patojenler üzerinde dikkate değer etkileri olan antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğu bulunmuştur. Hanaa ve ark. (2011) *Azadirachta indica* (Neem) ve *Salix babylonica* (Söğüt) %10 sulu özütlerinin domatesteki *Fusarium*

solgunluğu hastalığı üzerindeki etkisini araştırmış ve hastalık görülme oranının sırasıyla 6 haftalık enfeksiyondan sonra %25,5 ve %27,8 seviyelerine düştüğünü ortaya koymuştur. Ayrıca, Agbenin ve Marley (2006), 100 mL patates Dekstroz Agar'daki %5 ila %30 konsantrasyonlarda ham neem (*Azadirachta indica*) ve sarımsak (*Allium sativum*) özütlerinin *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*'nin miselyal büyümesini çeşitli düzeylerde engellediğini bildirmiştir. Kuru neem tohumu özütü %100 inhibisyon sağlamıştır. Taze neem yaprağı özütü, konsantrasyon arttıkça miselyal büyümeyi azaltırken, sarımsakta kullanılan çeşitli konsantrasyonlar arasında büyüme inhibisyonunda bir fark olmamıştır. Umar ve ark. (2013) çiftlik gübresinin (FYM) farklı miktarlarının (0, 25, 50, 75 ve 100 g ha⁻¹) domateste *Fusarium* solgunluğunun büyümesi ve hastalık sıklığı üzerindeki etkisini incelemiş ve *Fusarium*'dan kaynaklanan domates solgunluğunun sıklığında ve şiddetinde sürekli olarak önemli bir azalma olduğunu bildirmiştir. Bu durum, bunun Kuzey Nijerya'da daha yüksek verimli domates üretimi için *Fusarium*'dan kaynaklanan solgunluğun azaltılmasında çiftçilere faydalı olabileceğini düşündürmektedir.

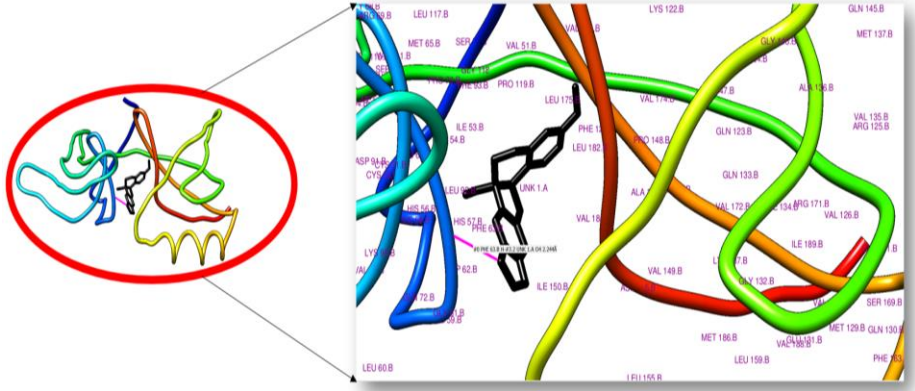
Bezelyede bir çalışma, bazı dirençli türlerin kök eksüdatlarının Fop büyümesini ırka özgü bir şekilde engellediğini göstermiştir (Buxton, 1957). Bani ve ark. (2018), kök eksüdatlarının daha ileri analizleri ile pisatinin *Pisum* spp. germplazmına ait JI 2480 örneğinin kök eksüdatlarında gözlemlenen Fop çimlenmesinin inhibisyonundan kısmen sorumlu olduğunu bildirmiştir. Pisatin, patojenlere yanıt olarak indüklenen ana bezelye fitoaleksini ve güçlü bir antifungal metabolittir

(Hadwiger ve ark., 1995). Bani ve ark. (2018), pisatinin, kök eksüdatlarından elde edilen inhibe edici fraksiyonlarının başlıca bileşeni olarak göstermiştir. Önceki çalışmalarda pisatinin plaka biyolojik analizlerinde *F. oxysporum* büyümesini 25–100 µg mL⁻¹ aralığında engellediği bildirilmiş olsa da (Van Etten, 1973), çok daha düşük konsantrasyonlarda Fop çimlenmesini engellediği Bani ve ark. (2018) tarafından bulunmuştur.

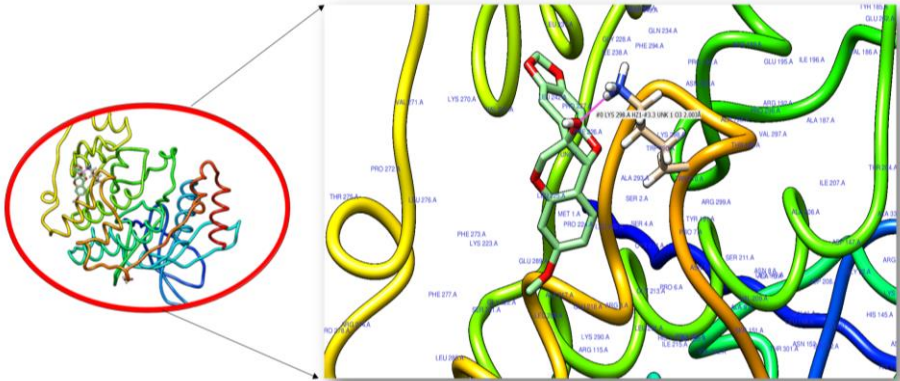
Tablo 1. Docking için kullanılan protein bilgileri

Fungal Proteinlerin bilgileri		Fungal proteinler ve pisatinin docking skorları (kcal mol ⁻¹)
Worrior body proteini	NCBI: KNA98816.1	-6.1
Mitogen activated protein kinase	NCBI: QKD49639.1	-6.8

Bu çalışmada antifungal etkisi bilinen pisatinin *F. oxysporum*'a ait fungal proteinler ile interaksiyonu docking ile araştırılarak potansiyel antifungal etkisi *in silico* olarak değerlendirilmiştir. Pisatin worrior body proteini ile -6.1 docking skoruyla proteinin 63. amino asidi fenilalanin amino asiti ile bağ yaparken, mitogen activated protein kinase ile -6.8 docking skoruyla proteinin 298. amino asidi lizin ile bağ yapmıştır. Pisatinin fungal proteinler ile etkileşimi ve bağ pozisyonları 3D olarak Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Fusarium woronin body major protein ile pisatinin docking sonucu interaksiyonunun 3D yapısal görüntüsü



Şekil 2. Fusarium MAPK proteini ile pisatinin docking sonucu interaksiyonunun 3D yapısal görüntüsü

Bitki-mikroorganizma etkileşimleri, bitki konakçısı üzerinde yararlı veya zararlı etkiye sahip yaygın ve doğal bir olaydır. Bitkiler ayrıca konakçı bitki üzerinde zararlı etkiye sahip çok çeşitli patojenik mikroorganizmalar ile sürekli olarak karşılaşmaktadır. Bitkiler, farklı biyotik faktörlerle zararlı olan etkileşimleri engellemek için gelişimsel süreçleri boyunca çok sayıda fiziksel ve kimyasal savunma sistemi geliştirmiştir. Böylece bitkiler patojenle savaşmak için çok katmanlı

karmaşık ağ yolları geliştirirler; bunlar arasında PR proteinlerinin sentezi, hücre lignifikasyonları, fitohormon uyarımı ve savunma ile ilgili genlerin indüksiyonu bulunmaktadır. Bu kimyasal savunma sistemleri arasında, patojenlerin biyokimyasal ve enzimatik aktivitelerinin inhibisyonu veya patojenlerin büyümesini engellemek veya onları öldürmek için litik sekonder metabolitlerin birikimi baskın mekanizmalar arasındadır. Bu çalışmada ele alınan kök eskudatlarından biri olan pisatinin *F. oxysporum*'a ait proteinler ile etkileşimi docking ile araştırılarak antifungal potansiyeli *in silico* olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın *in vivo* ve *in vitro* çalışmalar ile desteklenmesiyle pisatinin antifungal etkisi değerlendirilmelidir.

SONUÇ

Bu çalışmada, *Fusarium oxysporum* gibi patojenik funguslara karşı etkili olduğu bilinen pisatin molekülünün, fungal proteinler olan Woronin Body proteini ve Mitogen Activated Protein Kinase (MAPK) ile olan etkileşimleri *in silico* moleküler docking yöntemiyle değerlendirilmiştir. Docking çalışmaları sonucunda, pisatinin her iki fungal proteinle de güçlü bir bağlanma afinitesi sergilediği tespit edilmiştir. Pisatin, Woronin Body proteini ile -6.1 kcal/mol docking skoru ile etkileşime girerek proteinin 63. amino asidi olan fenilalaninle bağ yapmış; MAPK proteini ile ise -6.8 kcal/mol docking skoru ile etkileşime girerek proteinin 298. amino asidi olan lizinle bağ yapmıştır. Bu sonuçlar, pisatinin *F. oxysporum*'a ait proteinleri hedef alarak antifungal bir potansiyel gösterebileceğini işaret etmektedir.

Bu çalışmada elde edilen in silico bulgular, pisatinin antifungal etkisini desteklemek için ileride yapılacak in vitro ve in vivo çalışmaların ¼nemini ortaya koymaktadır. Ayrıca, pisatinin patojen kontrol stratejilerinde kullanılabilirliği açısından, bu molek¼l¼n bitki koruma uygulamalarına y¼nelik biyopestisit form¼lasyonlarında değerlendirilebileceği d¼ř¼n¼lmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalar, pisatinin antifungal mekanizmalarının daha ayrıntılı şekilde açıklanmasına ve evre dostu fungal kontrol y¼ntemlerinin geliştirilmesine katkıda bulunacaktır. Bu bağlamda, çalışma sonuçları hem temel bilimsel araştırmalar hem de uygulamalı tarımsal biyoteknoloji açısından ¼nemli bir temel oluşturmaktadır.

KAYNAKÇA

- Abdel-Monaim, M. F. (2012). Induced systemic resistance in tomato plants against Fusarium wilt disease. *Int. Res. J. Microbiol*, 3(1), 14-23.
- Agbenin, N. O., Emechebe, A. M., & Marley, P. S. (2004). Evaluation of neem seed powder for Fusarium wilt and Meloidogyne control on tomato. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 37(4), 319-326.
- Agbenin, O. N., & Marley, P. S. (2006). In-vitro assay of some plant extracts against Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici causal agent of tomato wilt. *Journal of plant protection research*, 46(3).
- Ahmed, M. (2011). Management of Fusarium wilt of tomato by soil amendment with Trichoderma koningii and a white sterile fungus. *Indian J. Res*, 5(1), 35-38.
- Amini, J., & Sidovich, D. (2010). The effects of fungicides on *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* associated with Fusarium wilt of tomato. *Journal of plant protection research*, 50, 172-178.
- Bais, H. P., Weir, T. L., Perry, L. G., Gilroy, S., & Vivanco, J. M. (2006). The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 57(1), 233-266.
- Bani, M., Cimmino, A., Evidente, A., Rubiales, D., & Rispaill, N. (2018). Pisatin involvement in the variation of inhibition of *Fusarium oxysporum* f. sp. pisi spore germination by root exudates of *Pisum* spp. germplasm. *Plant pathology*, 67(5), 1046-1054.
- Bartnicki-Garcia, S., & Lippman, E. (1972). The bursting tendency of hyphal tips of fungi: presumptive evidence for a delicate balance between wall synthesis and wall lysis in apical growth. *Microbiology*, 73(3), 487-500.
- Bawa, I. (2016). Management strategies of Fusarium wilt disease of tomato incited by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.) A Review. *Int. J. Adv. Acad. Res*, 2(5), 32-42.
- Baysal, Ö., Siragusa, M., İkten, H., Polat, İ., Gümrükcü, E., Yigit, F., ... & da Silva, J. T. (2009). *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* races and their genetic

- discrimination by molecular markers in West Mediterranean region of Turkey. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 74(1), 68-75.
- Biondi, N., Piccardi, R., Margheri, M. C., Rodolfi, L., Smith, G. D., & Tredici, M. R. (2004). Evaluation of Nostoc strain ATCC 53789 as a potential source of natural pesticides. *Applied and environmental microbiology*, 70(6), 3313-3320.
- Booth, C. (1977). *Fusarium. Laboratory guide to the identification of the major species* (pp. 58).
- Borrero, C., Ordovás, J., Trillas, M. I., & Avilés, M. (2006). Tomato Fusarium wilt suppressiveness. The relationship between the organic plant growth media and their microbial communities as characterised by Biolog®. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(7), 1631-1637.
- Brenner, D. M., & Carroll, G. C. 1968. Fine-structure correlates of growth in hyphae of *Ascodesmis sphaerospora*. *J. Bacteriol.* 95, 658– 671.
- Buller, A. H. R. (1933). *Researches in Fungi*. Hafner, New York.
- Burgess, L. W., Liddell, C. M., & Summerell, B. A. (1983). Laboratory manual for Fusarium research.
- Buxton, E. W. (1957). Some effects of pea root exudates on physiologic races of *Fusarium oxysporum* Fr. f. *pisi* (Linf.) Snyder & Hansen. *Transactions of the British mycological Society*, 40(1), 145-154.
- Cai, G., Gale, L. R., Schneider, R. W., Kistler, H. C., Davis, R. M., Elias, K. S., & Miyao, E. M. (2003). Origin of race 3 of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* at a single site in California. *Phytopathology*, 93(8), 1014-1022.
- Collinge, A. J., Miles, E. A., & Trinci, A. P. J. (1978). Ultrastructure of *Penicillium chrysogenum* hyphae from colonies and chemostat cultures. *Transactions of the British Mycological Society*, 70(3), 401-408.
- Collinge, A. J., Miles, E. A., & Trinci, A. P. J. (1978). Ultrastructure of *Penicillium chrysogenum* hyphae from colonies and chemostat cultures. *Transactions of the British Mycological Society*, 70(3), 401-408.
- Collinge, A. J., & Markham, P. (1985). Woronin bodies rapidly plug septal pores of severed *Penicillium chrysogenum* hyphae. *Exp. Mycol.* 9, 80–85.

- Coventry, E., & Allan, E. J. (2001). Microbiological and chemical analysis of neem (*Azadirachta indica*) extracts: new data on antimicrobial activity. *Phytoparasitica*, 29, 441-450.
- De La Peña, C., & M Vivanco, J. (2010). Root-microbe interactions: the importance of protein secretion. *Current Proteomics*, 7(4), 265-274.
- Demirel, F. (2021). Soyada Protein Disülfit İzomeraz'ların İn Silico Analizi. *Journal of Agriculture*, 4(1), 48-56.
- Elmer, W. H. (2006). Effects of acibenzolar-S-methyl on the suppression of Fusarium wilt of cyclamen. *Crop protection*, 25(7), 671-676.
- Fravel, D., Olivain, C., & Alabouvette, C. (2003). *Fusarium oxysporum* and its biocontrol. *New phytologist*, 157(3), 493-502.
- Hacquard, S., Garrido-Oter, R., González, A., Spaepen, S., Ackermann, G., Lebeis, S., ... Schulze-Lefert, P. (2015). Microbiota and host nutrition across plant and animal kingdoms. *Cell host & microbe*, 17(5), 603-616.
- Hadian, S., Rahnama, K., Jamali, S., & Eskandari, A. (2011). Comparing neem extract with chemical control on *Fusarium oxysporum* and *Meloidogyne incognita* complex of tomato. *Advances in Environmental Biology*, 5(8), 2052-2057.
- Hadwiger, L. A., Chang, M. M., & Parsons, M. A. (1995). *Fusarium solani* DNase is a signal for increasing expression of nonhost disease resistance response genes, hypersensitivity, and pisatin production. *Molecular Plant-microbe Interactions*, 8(6), 871-879.
- Hanaa, R. F., Abdou, Z. A., Salama, D. A., Ibrahim, M. A., & Srour, H. A. M. (2011). Effect of neem and willow aqueous extracts on Fusarium wilt disease in tomato seedlings: Induction of antioxidant defensive enzymes. *Annals of Agricultural Sciences*, 56(1), 1-7.
- Hiltner, L. (1904). Über neuere Erfahrungen und Probleme auf dem Gebiet der Bodenbakteriologie und unter besonderer Berücksichtigung der Gründüngung und Brache. *Arbeiten der deutschen landwirtschaftlichen gesellschaft*, 98, 59.
- Hou, Z., Xue, C., Peng, Y., Katan, T., Kistler, H. C., & Xu, J. R. (2002). A mitogen-activated protein kinase gene (MGV1) in *Fusarium graminearum* is required

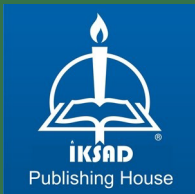
- for female fertility, heterokaryon formation, and plant infection. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 15(11), 1119-1127.
- Jain, R., Valiante, V., Remme, N., Docimo, T., Heinekamp, T., Hertweck, C., ... Brakhage, A. A. (2011). The MAP kinase MpkA controls cell wall integrity, oxidative stress response, gliotoxin production and iron adaptation in *Aspergillus fumigatus*. *Molecular microbiology*, 82(1), 39-53.
- Jedd, G., & Chua, N. H. (2000). A new self-assembled peroxisomal vesicle required for efficient resealing of the plasma membrane. *Nature cell biology*, 2(4), 226-231.
- Jones, J.P. & Woltz, S.S. (1981) Fusarium-incited diseases of tomato and potato and their control. In *Fusarium: Disease, Biology and Taxonomy* (Eds P.E. Nelson, TA Toussoun and RI Cook), pp. 157-168. The Pennsylvania State University Press, University Park, USA.
- Kimaru, S. K., Waudu, S. W., Monda, E., Seif, A. A., & Birgen, J. K. (2004). Effect of Neem Kernel Cake Powder (NKCP) on Fusarium wilt of tomato when used as soil amendment. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, 105(1), 63-69.
- Kimaru, S. K., Waudu, S. W., Monda, E., Seif, A. A., & Birgen, J. K. (2004). Effect of Neem Kernel Cake Powder (NKCP) on Fusarium wilt of tomato when used as soil amendment. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, 105(1), 63-69.
- Korenblum, E., Dong, Y., Szymanski, J., Panda, S., Jozwiak, A., Massalha, H., ... Aharoni, A. (2020). Rhizosphere microbiome mediates systemic root metabolite exudation by root-to-root signaling. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(7), 3874-3883.
- Kumar, S. P., Srinivasulu, A., & Babu, K. R. (2018). Symptomology of major fungal diseases on tomato and its management. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(6), 1817-1821.
- L'Haridon, F., Aimé, S., Duplessis, S., Alabouvette, C., Steinberg, C., & Olivain, C. (2011). Isolation of differentially expressed genes during interactions between

- tomato cells and a protective or a non-protective strain of *Fusarium oxysporum*. *Physiological and molecular plant pathology*, 76(1), 9-19.
- Lyu, D., Msimbira, L. A., Nazari, M., Antar, M., Pagé, A., Shah, A., ... & Smith, D. L. (2021). The coevolution of plants and microbes underpins sustainable agriculture. *Microorganisms*, 9(5), 1036.
- Managadze, D., Würtz, C., Sichtung, M., Niehaus, G., Veenhuis, M., & Rottensteiner, H. (2007). The peroxin PEX14 of *Neurospora crassa* is essential for the biogenesis of both glyoxysomes and Woronin bodies. *Traffic*, 8(6), 687-701.
- Markham, P., & Collinge, A. J. (1987). Woronin bodies of filamentous fungi. *FEMS Microbiol. Rev.* 46, 1–11.
- Markham, P., & Collinge, A. J. (1987). Woronin bodies of filamentous fungi. *FEMS Microbiology Reviews*, 3(1), 1-11.
- Maruyama, J. I., Juvvadi, P. R., Ishi, K., & Kitamoto, K. (2005). Three-dimensional image analysis of plugging at the septal pore by Woronin body during hypotonic shock inducing hyphal tip bursting in the filamentous fungus *Aspergillus oryzae*. *Biochemical and biophysical research communications*, 331(4), 1081-1088.
- Papenfort, K., & Bassler, B. L. (2016). Quorum sensing signal–response systems in Gram-negative bacteria. *Nature Reviews Microbiology*, 14(9), 576-588.
- Pieterse, C. M., Zamioudis, C., Berendsen, R. L., Weller, D. M., & Van Wees, S. C., Bakker, P. A. (2014). Induced systemic resistance by beneficial microbes. *Annual review of phytopathology*, 52(1), 347-375.
- Pottorf, L. (2006). Recognizing Tomato problems. Colorado State. University Cooperative Extension. (2) 949.
- Pritesh, P., & Subramanian, R. B. (2011). PCR based method for testing *Fusarium* wilt resistance of tomato. *African Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(5), 222.
- Pritesh, P., & Subramanian, R. B. (2011). PCR based method for testing *Fusarium* wilt resistance of tomato. *African Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(5), 222.

- Rispail, N., Soanes, D. M., Ant, C., Czajkowski, R., Grünler, A., Huguet, R., ... & Di Pietro, A. (2009). Comparative genomics of MAP kinase and calcium–calcineurin signalling components in plant and human pathogenic fungi. *Fungal Genetics and Biology*, 46(4), 287-298.
- Robert, R. W. (2005). Growing tomatoes. University of Georgia College of Agricultural and Environmental Sciences. *Bulletin*, 1271.
- Sati, D., Joshi, T., Pandey, S. C., Pande, V., Mathpal, S., Chandra, S., & Samant, M. (2022). Identification of putative elicitors from plant root exudates responsible for PsoR activation in plant-beneficial *Pseudomonas* spp. by docking and molecular dynamics simulation approaches to Decipher plant–microbe interaction. *Frontiers in Plant Science*, 13, 875494.
- Silva, J. C. D., & Bettioli, W. (2005). Potential of non-pathogenic *Fusarium oxysporum* isolates for control of *Fusarium* wilt of tomato. *Fitopatologia Brasileira*, 30, 409-412.
- Soundararajan, S., Jedd, G., Li, X., Ramos-Pamplona, M., Chua, N. H., & Naqvi, N. I. (2004). Woronin body function in *Magnaporthe grisea* is essential for efficient pathogenesis and for survival during nitrogen starvation stress. *The Plant Cell*, 16(6), 1564-1574.
- Srinivas, C., Devi, D. N., Murthy, K. N., Mohan, C. D., Lakshmeesha, T. R., Singh, B., ... Srivastava, R. K. (2019). *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* causal agent of vascular wilt disease of tomato: Biology to diversity–A review. *Saudi journal of biological sciences*, 26(7), 1315-1324.
- Steinkellner, S., Mammerler, R., & Vierheilig, H. (2005). Microconidia germination of the tomato pathogen *Fusarium oxysporum* in the presence of root exudates. *Journal of plant interactions*, 1(1), 23-30.
- Stevenson, P. C., Padgham, D. E., & Haware, M. P. (1995). Root exudates associated with the resistance of four chickpea cultivars (*Cicer arietinum*) to two races of *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceri*. *Plant Pathology*, 44(4), 686-694.
- Suárez-Estrella, F., Vargas-García, C., López, M. J., Capel, C., & Moreno, J. (2007). Antagonistic activity of bacteria and fungi from horticultural compost against *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis*. *Crop Protection*, 26(1), 46-53.

- Tenney, K., Hunt, I., Sweigard, J., Pounder, J. I., McClain, C., Bowman, E. J., & Bowman, B. J. (2000). Hex-1, a gene unique to filamentous fungi, encodes the major protein of the Woronin body and functions as a plug for septal pores. *Fungal Genetics and Biology*, 31(3), 205-217.
- Umar, S., Aliyu, B. S., Mustapha, Y., & Kutama, A. S. (2013). Effects of farm yard manure application on the incidence of Fusarium wilt in tomato caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Snyder and Hans) in Nigerian Sudan Savanna. *Standard Res J Agr Sci*, 1, 36-40.
- Valiante, V., Jain, R., Heinekamp, T., & Brakhage, A. A. (2009). The MpkA MAP kinase module regulates cell wall integrity signaling and pyomelanin formation in *Aspergillus fumigatus*. *Fungal Genetics and Biology*, 46(12), 909-918.
- Van Etten, H. D. (1973). Differential Sensitivity of Fungi to Pisatin. *Phytopathology*, 63, 1477-1482.
- Waiganjo, M. M., Wabule, N. M., Nyongesa, D., Kibaki, J. M., Onyango, I., Wepukhulu, S. B., & Muthoka, N. M. (2006). Tomato production in Kirinyaga district, Kenya, a baseline survey report. *Kenya Agricultural Research Institute, Nairobi, Kenya*, 1-43.
- Woronin, M. (1864). Zur Entwicklungsgeschichte des *Ascobolus pulcherrimus* Cr. und *Pezizen*. *Abh. Senkenb. Naturforsch.* 5, 333–344.
- Wu, X., Yu, L., & Pehrsson, P. R. (2022). Are processed tomato products as nutritious as fresh tomatoes? Scoping review on the effects of industrial processing on nutrients and bioactive compounds in tomatoes. *Advances in Nutrition*, 13(1), 138-151.
- Yago, J. I., Lin, C. H., & Chung, K. R. (2011). The SLT2 mitogen-activated protein kinase-mediated signalling pathway governs conidiation, morphogenesis, fungal virulence and production of toxin and melanin in the tangerine pathotype of *Alternaria alternata*. *Molecular plant pathology*, 12(7), 653-665.
- Yu, K., Pieterse, C. M., Bakker, P. A., & Berendsen, R. L. (2019). Beneficial microbes going underground of root immunity. *Plant, Cell and Environment*, 42(10), 2860-2870.

- Yuan, P., Jedd, G., Kumaran, D., Swaminathan, S., Shio, H., Hewitt, D., ... Swaminathan, K. (2003). A HEX-1 crystal lattice required for Woronin body function in *Neurospora crassa*. *Nature Structural & Molecular Biology*, 10(4), 264-270.
- Zeng, F., Gong, X., Hamid, M. I., Fu, Y., Jiatao, X., Cheng, J., ... Jiang, D. (2012). A fungal cell wall integrity-associated MAP kinase cascade in *Coniothyrium minitans* is required for conidiation and mycoparasitism. *Fungal Genetics and Biology*, 49(5), 347-357.
- Zhalnina, K., Louie, K. B., Hao, Z., Mansoori, N., Da Rocha, U. N., Shi, S., ... Brodie, E. L. (2018). Dynamic root exudate chemistry and microbial substrate preferences drive patterns in rhizosphere microbial community assembly. *Nature Microbiology*, 3(4), 470-480.
- Zhao, X., Mehrabi, R., & Xu, J. R. (2007). Mitogen-activated protein kinase pathways and fungal pathogenesis. *Eukaryotic cell*, 6(10), 1701-1714.



ISBN: 978-625-378-029-6