

BİTKİ KORUMADA MODERN YAKLAŞIMLAR – 1

EDİTÖR
Dr. Öğr. Üyesi Alper POLAT



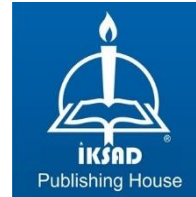
BİTKİ KORUMADA MODERN YAKLAŞIMLAR – 1

EDİTÖR

Dr. Öğr. Üyesi Alper POLAT

YAZARLAR

Prof. Dr. Arzu GÖRMEZ
Prof. Dr. Celalettin GÖZÜAÇIK
Prof. Dr. Esin BASIM
Prof. Dr. Feza CAN
Prof. Dr. Füsün EYİDOĞAN
Prof. Dr. Hüseyin BASIM
Prof. Dr. Işık TEPE
Prof. Dr. İnanç ÖZGEN
Prof. Dr. İzzet KADIOĞLU
Prof. Dr. Özlem DARCANSOY İŞERİ
Doç. Dr. Cem ERDOĞAN
Doç. Dr. Figen DÖNMEZ
Doç. Dr. Işıl ÖZDEMİR
Doç. Dr. Mesude Figen YEŞİLDAĞ
Doç. Dr. Mustafa ÖZDEMİR
Doç. Dr. Reyhan YERGİN ÖZKAN
Dr. Öğr. Üyesi Bahadır ŞİN
Dr. Öğr. Üyesi Serkan YEŞİL
Dr. Enes FİDAN
Dr. Hakan HEKİMHAN
Dr. Işıl TEMEL
Dr. Nilay GÜLPERÇİN
Arş. Gör. Ezgi ALACA YILDIRIM
Zir. Yük. Müh. Ayda KONUKSAL
Zir. Yük. Müh. Hüseyin KARANFİLOĞLU
Zir. Yük. Müh. Nazife ARAP
Zir. Yük. Müh. Sevgi COŞKAN
Ayhan KARAKAYA
Hasan GÜN
Sümeyye BAYRAM
Tuba ASLAN KÜÇÜKÖZER



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. The
first degree responsibility of the works in the book belongs to the authors.
Iksad Publications – 2024©

ISBN: 978-625-367-834-0

Cover Design: İbrahim KAYA
October / 2024
Ankara / Türkiye
Size = 16x24 cm

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....1

BÖLÜM 1

BİTKİ PATOJENLERİNİN TESPİTİ VE TANISINDA KULLANILAN TEKNİKLERLE İLGİLİ SON GELİŞMELER

Prof. Dr. Esin BASIM.....3

BÖLÜM 2

YAPAY ZEKÂNIN BİTKİ KORUMADA KULLANIMI

Prof. Dr. İnanç ÖZGEN

Tuba ASLAN KÜÇÜKÖZER.....45

BÖLÜM 3

BİTKİ HASTALIKLARINDA BİYOLOJİK KONTROL MEKANİZMALARI: SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIMIN ANAHTARI

Doç. Dr. Figen DÖNMEZ

Dr. Işıl TEMEL.....71

BÖLÜM 4

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN BİTKİ-VEKTÖR BÖCEK-VİRÜS ETKİLEŞİMLERİ ÜZERİNDEKİ POTANSİYEL ETKİLERİ

Zir. Yük. Müh. Sevgi COŞKAN

Dr. Öğretim Üyesi Serkan YEŞİL.....113

BÖLÜM 5

TARIMDA TELKURTLARI VE ALTERNATİF KONTROL STRATEJİLERİ

Dr. Nilay GÜLPERÇİN.....149

BÖLÜM 6

BİTKİ MİKROBİYOMU VE BİTKİ SAĞLIĞI İÇİN ÖNEMİ

Prof. Dr. Esin BASIM

Prof. Dr. Hüseyin BASIM.....173

BÖLÜM 7

BUĞDAY VE PAMUK DEPO ALANLARINDAKİ ZARARLI LEPIDOPTER TÜRLERİNE GÜNCEL BİR BAKIŞ

Hasan GÜN

Prof. Dr. Feza CAN.....213

BÖLÜM 8

YABANCI OTLARLA FİZİKSEL MÜCADELEDE YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR

Doç. Dr. Reyhan YERGİN ÖZKAN

Dr. Enes FİDAN²

Prof. Dr. Işık TEPE.....233

BÖLÜM 9

KUZEY KIBRIS'TA EKİMDEN HASADA ARPA (*HORDEUM VULGARE L.*) ZARARLILARI

Prof. Dr. Celalettin GÖZÜAÇIK

Zir. Yük. Müh. Ayda KONUKSAL

Zir. Yük. Müh. Nazife ARAP

Zir. Yük. Müh. Hüseyin KARANFİLOĞLU

Dr. Hakan HEKİMHAN.....253

BÖLÜM 10

BİTKİ BAKTERİYEL HASTALIKLARININ TAKİBİNDE SON GELİŞMELER

Prof. Dr. Arzu GÖRMEZ

Arş. Gör. Ezgi ALACA YILDIRIM.....277

BÖLÜM 11

KAVAKLARDA GÖRÜLEN APHID (HEMIPTERA: APHIDIDAE)'LERİN ÜLKEMİZDEKİ DURUMU

Doç. Dr. Işıl ÖZDEMİR

Ayhan KARAKAYA

Doç. Dr. Mustafa ÖZDEMİR

Sümeyye BAYRAM.....315

BÖLÜM 12

TURUNÇGİL BAKTERİYEL YEŞİLLENME HASTALIĞI

Prof. Dr. Hüseyin BASIM.....353

BÖLÜM 13

İĞDIR İLİNDE TESPİT EDİLEN BAKTERİYEL HASTALIK ETMENLERİ

Dr. Işıl TEMEL

Doç. Dr. Mesude Figen YEŞİLDAĞ.....377

BÖLÜM 14

YABANCI OTLARDA HERBİSİT DAYANIKLILIĞI VE TÜRKİYE'DE YAPILAN GÜNCEL BAZI ÇALIŞMALAR

Dr. Öğr. Üyesi Bahadır ŞİN

Prof. Dr. İzzet KADIOĞLU.....409

BÖLÜM 15

TEK SAĞLIK YAKLAŞIMINDA BİTKİ KORUMANIN YERİ VE ÖNEMİ

Doç. Dr. Cem ERDOĞAN

Prof. Dr. Özlem DARCANSOY İŞERİ

Prof. Dr. Füsun EYİDOĞAN.....439

BÖLÜM 16

KUZEY KIBRIS'TA TOHUMDAN HASADA ARPA (*Hordeum vulgare* L.) FUNGAL HASTALIKLARI

Dr. Hakan HEKİMHAN

Zir. Yük. Müh. Ayda KONUKSAL

Zir. Yük. Müh. Nazife ARAP

Zir. Yük. Müh. Hüseyin KARANFİLOĞLU

Prof. Dr. Celalettin GÖZÜAÇIK.....465

ÖNSÖZ

Tarımsal faaliyetler, geçmişten günümüze kadar her zaman önemini korumuş ve değerli olmuştur. İçinde bulunduğumuz yıllarda yaşadığımız küresel iklim değişikliği, Covid-19 salgını, kuraklık ve hızlı nüfus artışı gibi gelişmeler de göstermektedir ki tarım ve beslenme, önümüzdeki yıllarda da hayati önemini korumaya devam edecektir. Dünya Sağlık Örgütü verilerine göre, dünya nüfusunun 2050 yılına kadar dokuz milyara ulaşacağı ve buna paralel olarak gıda maddesi ihtiyacının şimdikinden çok daha fazla olacağı tahmin edilmektedir. Dünyadaki gıda maddesi ihtiyacı artmasına rağmen, tarım alanlarının aynı kalması, bu alanların verimli bir şekilde kullanılmasını ve verim artışı sağlanmasını zorunlu kılmaktadır. Gıda maddelerinde verim artışı sağlanabilmesi için de zararlı böcekler, hastalık etmenleri ve yabancı otlarla mücadele edilmesi gerekmektedir. Bütün bu etmenlerle mücadele edilmediği takdirde ise %70-100'lere varan oranlarda ürün kayıpları yaşanabilmektedir. Bu kayıpların önüne geçilebilmesi için bu etmenlerin bütün yönleriyle ele alınması, bilinmesi ve gerekli mücadele yöntemlerinin ortaya konulması gerekmektedir. Hazırlanan bu eser bu amaç doğrultusunda, 16 bölümü kapsayacak şekilde planlanmıştır.

Bu eserin Bitki Koruma ve bilim camiasındaki meslektaşlarımıza ve ülke tarımına faydalı olmasını ve katkı sağlanmasını dilerken, teşvikleriyle destek olan İksad Yayınevi'ne içtenlikle teşekkür ederim.

Dr. Öğr. Üyesi Alper POLAT
Bingöl / Ekim 2024

BÖLÜM 1

BİTKİ PATOJENLERİNİN TESPİTİ VE TANISINDA KULLANILAN TEKNİKLERLE İLGİLİ SON GELİŞMELER

Prof. Dr. Esin BASIM¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13767826>

¹ Akdeniz Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Organik Tarım Bölümü, Antalya, Türkiye, esinbasim@akdeniz.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-9188-6609

GİRİŞ

Bitki patojeni mikroorganizmalar bitkisel üretimde önemli ekonomik verim kayıplarına neden olmaktadır. Bitki hastalıkları ekonomik açıdan önemli olan ürünler üzerinde hem ticari hem de sosyal açıdan bir takım sıkıntılar ortaya çıkarabilmektedir. Bitki patojenleri tarım endüstrisi için büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Ekonomik açıdan önemli ürünlerin veriminin %40'a kadarı her yıl bitki patojenleri ve zararlılar nedeniyle kaybolmaktadır (FAO, 2019; Savary ve ark., 2019; Baldi ve La Porta, 2020). Bitki hastalıklarıyla ilişkili kayıplar yüksek bir ekonomik yük oluşturmaktadır ve tahmini yıllık ürün kaybı değeri yaklaşık 220 milyar dolar olarak bildirilmiştir (FAO, 2019).

Geçmişte, artan gıda talebi tarımsal arazi kullanımındaki artışla karşılanabilirken, günümüzde bu, yaşam alanı, endüstri ve en önemlisi ormanlık alanların kullanılması pahasına gerçekleşmektedir. (McDonald ve Stukenbrock, 2016). Arazilerin %50'sinin halihazırda tarım için kullanıldığı düşünüldüğünde, en iyi seçenek elde edilebilecek verimi artırmak olarak düşünülmektedir. Bu stratejiye de tarımsal yoğunlaştırma adı verilmektedir (McDonald ve Stukenbrock, 2016; Baldi ve La Porta, 2020). Ancak, monokültür tarımın geniş alanlarda sıklıkla gerçekleştirilmesiyle tarımın yoğunlaştırılması ve konukçuya özgü patojenlerin oldukça hızla yayılmasını kolaylaştırmaktadır (McDonald ve Stukenbrock, 2016; Savary ve ark., 2019; Baldi ve La Porta, 2020). En önemli bitki patojenleri içinde yer alan virüsler, bakteriler ve funguslar/oomisetler gibi bitkileri hastalandıran patojenler ve etkileri, özellikle istilacı olan bu patojenlerin girişini hızlandırabilmekte ve önemli ürün zararına ve verim kayıplarına yol açabilmektedir. Verim kayıpları özellikle küresel ticaretin artmasıyla daha da kötüleşmektedir. (Baldi ve La Porta, 2020).

Artan dünya nüfusu ve giderek kendini hissettiren global iklim değişikliği bitkilerde verim kayıplarının en aza indirilmesinde çok büyük önem taşımaktadır. Avrupa Komisyonu, iklim değişikliğiyle mücadele

etmek ve endüstri ile tarımı daha sürdürülebilir hale getirmeyi teşvik eden Yeşil Mutabakat'ı 2019'da başlatmıştır.

Bitkilerin sahip oldukları özellikler sebebiyle özellikle kapalı dolaşım sistemlerinin bulunmaması, sıcak kanlılar gibi kısa sürede başarılı sonuç verebilen tedavi yöntemlerinin kullanılmasını engellemektedir. Bu yüzden bitki hastalıklarıyla mücadelede koruyucu tedbirler büyük önem taşımaktadır. Hastalık etmenlerinin bitkide henüz hastalık oluşturmadan, tohumlardan, bitki üretim materyallerinden, simptomsuz bitki dokularından veya başlangıçta olan hastalık enfeksiyonlarında, patojenlerin kesin ve güvenilir düzeyde tespiti ve tanısı, özellikle tarımsal kayıpların azaltılmasında büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışma, bitki patojenlerini tespit etmek için kullanılan yöntemler ve bu yöntemlerle ilgili son gelişmeleri sunmayı amaçlamaktadır.

2. BİTKİ PATOJENLERİNİN TESPİTİ VE TANISINDA KULLANILAN YÖNTEMLER

2.1. Optik ve Spektral Algılama Yöntemleri

Bitki patojenlerini tespit etmek için çok sayıda farklı teknikler mevcuttur. Belki de en kolay yöntem bitki hastalık belirtilerinin görsel olarak tespit edilmesidir (Timmerman ve ark., 2014). Ancak, görsel tespit, bitkinin henüz görsel olarak belirtil göstermediği gizli enfeksiyonları tespit etmeye izin vermez. Bu durumda, patojenin etkili bir şekilde tanımlanması gözlemcinin uzmanlığına ihtiyaç vardır (Riley ve ark., 2002). Bu nedenle, bitki patojenlerini tespit etmek için daha nesnel teknikler geliştirilmiştir. Dijitalleşmenin ortaya çıkmasıyla birlikte, bitki hastalığı tespitinde görüntüleme ve optik veya spektral tekniklerin kullanımı giderek artış göstermiştir. Gerçekten de stresli veya hastalıklı bitkilerin sağlıklı bitkilere kıyasla farklı bir spektral görüntüler oluşturduğu ortaya çıkarılmıştır (Martinelli ve ark., 2015; Zubler ve

Yoon, 2020). Örneğin, biyotik streslere karşı bitkiler örneğin klorofil içeriğindeki değişiklikler termal radyasyonda değişiklikleri ortaya çıkarabildiği tespit edilmiştir. Bu değişiklikler solma veya yaprak lezyonları gibi hastalık simptomları görülmeden önce meydana gelmesi durumunda bitkiler tarafından yayılan veya yansıtılan elektromanyetik radyasyondaki bu tür değişiklikleri ölçmek için şu anda farklı gelişmiş spektral yöntemler mevcuttur (Sankaran ve ark., 2010; Martinelli ve ark., 2015; Mahlein, 2016; Zubler ve Yoon, 2020; Geldhof ve ark., 2021; Tanner ve ark., 2022).

Spektral analiz, tek bir yapraktan yüksek çözünürlüklü görüntüler almaktan, tüm tarlaların spektral analizlerini yapan dronların kullanılmasına kadar farklı ölçeklerde uygulanabilmektedir (Singh ve ark., 2021). Ayrıca, bu sensörlerin ebatlarının giderek küçülmesi, ağırlığı ve maliyeti nedeniyle, rutin izleme amaçlı kullanımları için büyük otomasyon potansiyeli ile tarım endüstrisinde kullanımları daha yaygın hale gelmiştir. Örneğin, dronların kullanımı özellikle geniş ekim alanlarının rutin olarak izlenmesini mümkün kılarak biyotik stres yaşayan bitkilerin "sıcak noktalarının" tespit edilmesini sağlayabilmektedir. Bu konsepti daha geniş bir ölçekte ele alacak olursak, yüksek Optik veya spektral tekniklerin kullanılmasının diğer tekniklere göre birkaç avantajı vardır. Bu avantajlar; 1) Bitkisel üretimin tüm aşamalarının sürekli izlenmesiyle hastalıkların gerçek zamanlı olarak tespitleri yapılabilir; 2) Bitkilerdeki biyotik stres durumu tespit edilebilir ve 3) Herhangi bir yorumlama gerektirmeden invaziv olmayan bir tespit yöntemi olarak değerlendirilebilir. Ancak, optik sensörler kullanılarak veri edinimi nispeten kolaylaşmış olsa da bitkideki biyotik stresi tespit etmek için verilerin yorumlanması oldukça karmaşık olabilir ve genellikle yapay zeka için özel algoritmaların geliştirilmesi gerekir (Zubler ve Yoon, 2020). Dahası, görüntüleme teknikleri simptomlar ortaya çıkmadan önce bitkideki biyotik stresi tespit edebilse de teknik hala belirli patojenleri tespit etmek için ayırt edici yeteneklerden

yoksundur. Bu nedenle, özel patojenlerle mücadelede uygun bir yönetim stratejisi tasarlamak ve asıl patojeni tespit etmek için diğer daha hassas tekniklerle kombine edilerek birlikte kullanılması önem taşımaktadır. Bununla birlikte, bitkilerin stres gösterdiği alanlar tespit edilerek daha kolay ve daha hedefe yönelik örnekleme yapılabilir (Martinelli ve ark., 2015; Mahlein, 2016; Zubler ve Yoon, 2020).

2.2. Mikroorganizma Geliştirme Tabanlı Yöntemler

Mikroorganizma geliştirme tabanlı yöntemler genellikle bitki patojenlerinin tespiti ve tanımlanması için altın standart olarak kabul edilmektedir. Bu yöntem, hedef patojenin gelişimini sağlar iken arka plan mikroflorasının gelişimini engelleyen veya azaltan seçici veya yarı seçici bir kültür geliştirme ortamında mikroorganizmaların çoğaltımına ve izole edilmesine dayanır (Gopinath ve ark., 2014; Mancini ve ark., 2016; Ferone ve ark., 2020). Daha sonra, yarı-seçici veya seçici geliştirme ortamında çoğaltılan izolatların kimliğinin morfolojik, mikroskopik, biyokimyasal, moleküler veya immünolojik analizlerle doğrulanması gerekir (Mandal ve ark., 2011; Gopinath ve ark., 2014; Mancini ve ark., 2016; Ferone ve ark., 2020). Ancak, patojenlerin tanımlanmasında morfolojik ve mikroskopik gözlemler oldukça zordur ve genellikle araştırmacının yorumlama becerilerine ve deneyimine dayanmaktadır (Rajapaksha ve ark., 2019). Daha nesnel yöntemler, yarı-seçici ve seçici kültür besi ortamda geliştirilen patojenlerin doğrulanması için bir dizi biyokimyasal ve fenotipik testi içerir (Castro-Escarpulli ve ark., 2015). Çok çeşitli farklı biyokimyasal veya fenotipik testler mevcuttur ve testler manuel olarak veya ticari kitler ve otomatik sistemler kullanılarak gerçekleştirilebilir. Genellikle ticari testler daha yüksek güvenilirlik ve hassasiyet gösterir (Castro-Escarpulli ve ark., 2015). Örnekler arasında, araştırılan kültürün belirli substratları kullanma yeteneğine dayanan analitik profil indeksi (API) ve Biolog sistemlerinin kullanımı yer almaktadır (Smith ve ark., 1972; Geiss ve ark., 1985; Ieven ve ark., 1995; Shea ve ark., 2012; Ferone ve ark., 2020;

API, 2002). Mikroorganizmaları tanımlamak için alternatif yöntemler arasında, MALDI-TOF ve yağ asidi profilinin belirlenmesi yöntemleri yer almaktadır. MALDI-TOF genel olarak biyobelirteç izleme için geliştirilmiş olsa da mikroorganizmaların taksonomik tanımlanmasında da kullanımını kanıtlamıştır (Ahmad ve ark., 2012; Chun ve ark., 2022). Alternatif olarak, mikroorganizmalar arasındaki yağ asidi bileşimi değişkendir ve her organizma için benzersiz bir lipit parmak izinin oluşturulmasını sağlamaktadır. Yağ asidi profilinin analiz edilmesi, mikroorganizmanın tür seviyesine kadar taksonomik tanımlanmasına olanak tanımakta ve bitki patojeni tanımlamasında maliyet etkin ve hızlı bir yöntem olarak kullanımını kanıtlamış durumdadır (Yousef ve ark., 2012; Lacey ve ark., 2021). Ayrıca, DNA barkodlaması olarak da adlandırılan özel genetik belirteçlerin dizilenmesi, genetik belirtecin DNA dizisini bilinen türlerin daha önce tanımlanmış dizileriyle karşılaştırarak taksonomik tanımlama için sıklıkla kullanılmaktadır. Bakterilerin taksonomik tanımlanması için 16S rRNA ve *rpoB* genleri sıklıkla kullanılırken, funguslar ve oomisitler için ITS gen bölgesi tanımlama için yaygın bir genetik belirteç olarak kullanılmaktadır (Antil ve ark., 2023). Kültür besisi ortamında geliştirme tabanlı yöntemlerin başlıca avantajları basit ve güvenilir olmaları ve yüksek teknoloji ekipman gerektirmemeleridir. Ayrıca, canlı organizmaları cansız organizmalardan ayırt etmeyi sağlayabilmektedir (Figdor ve Gulabivala, 2011; Rajapaksha ve ark., 2019; Ferone ve ark., 2020; Li ve ark., 2020). Performanslı seçici bir besiy ortamı kullanılarak, hedef patojenin kantifikasyonu da sağlanabilir. Özgüllük, gerçekleştirilen biyokimyasal ve fenotipik testlere bağlıdır. Test edilen patojenin biyokimyasal ve fenotipik özellikleri dikkate alarak patojenin kimliğini değerlendirmek için referans kültürlerle karşılaştırılır (Castro-Escarpulli ve ark., 2015). Hedef mikroorganizmaya ve izole edildiği matrisle bağlı olarak, kültüre dayalı teknikler patojenleri 10^{-1} - 10^4 cfu/mL hassasiyetle tespit edebilir (López ve ark., 2003). Bu metodolojinin en büyük dezavantajı, tüm mikroorganizmaların kültüre edilememesidir (Connon ve Giovannoni,

2002). Yöntem ayrıca çok zaman alıcıdır ve kesin bir sonuca ulaşmak, organizmaların gelişimi ve kimliklerini doğrulamak için bir dizi testin yapılması için gereken süre nedeniyle günler ile haftalar arasında sürebilir (Law ve ark., 2015; Ferone ve ark., 2020; Li ve ark., 2020). Son olarak, yarı-seçici veya seçici besi ortamlarında geliştirme, konukçuya bağımlı yapıları nedeniyle viral bitki patojenlerini, mildiyö ve külleme gibi obligat bitki patojenlerini tespit etmek için uygun değildir. Ancak, seçici ortamlarda geliştirme yerine, viral patojenlerin tespiti, indikatör bitkilerde ortaya çıkan semptomların tespiti ile gerçekleştirilebilir. Bu tür testler de çok zaman alıcıdır ve incelenen bitkiye bağlı olarak haftalar sürebilir (Legrand, 2015; Mehetre ve ark., 2021).

2.3. İmmünolojik Yöntemler

2.3.1 Enzim Bağlantılı İmmünosorbent Testi (ELISA)

Şu ana kadar en çok kullanılan immünolojik teknik ELISA olarak bilinen Enzim Bağlantılı İmmünosorbent Testi'dir. İlk olarak 1970' lerde geliştirilen bu yöntem, dünya çapında mikrobiyal patojenlerin tespitinde yaygın olarak kullanılan köklü bir yöntem haline gelmiştir. Hızlı bir teknik olması ve otomasyona ve yüksek verimli taramalara uygun olması nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır (Alvarez, 2004; Posthuma-Trumpie ve ark., 2009; Martinelli ve ark., 2015). Doğrudan, dolaylı, sandviç ve rekabetçi ELISA testleri (Alhajj ve Farhana, 2023) dahil olmak üzere çeşitli ELISA formatları geliştirilmiştir ve hepsi aynı prensibi paylaşır, yani renksiz bir substratı renkli bir ürüne dönüştürebilen bir enzimle konjuge edilmiş spesifik antikörlerin kullanımına dayanmaktadır. Renk oluşumu, örnekteki hedef antijenin ve dolayısıyla hedef patojenin miktarıyla orantılıdır (Kumar ve ark., 2008; Atmar, 2014). ELISA analizlerinin duyarlılığı ve özgüllüğü farklı analizler arasında önemli ölçüde değişebilir ve büyük ölçüde türe (örneğin, doğrudan, dolaylı, sandviç veya rekabetçi ELISA), kullanılan antikörlere (monoklonal veya poliklonal), konjuge enzime ve karşılık gelen substrata bağlıdır. Buna ilaveten, matris ayrıca ELISA

analizlerinin özgülüğü ve duyarlılığı üzerinde büyük bir etkiye sahip olabilir, bu da yaygın olarak "matris etkileşimi" olarak bilinen bir sorundur (Wang ve ark., 2007). Bu, daha fazla sayıda yanlış pozitif (özgülüğün azalması nedeniyle) ve yanlış negatif sonuçlara (duyarlılığın azalması nedeniyle) neden olabilir. Örneğin, dolaylı ELISA genellikle daha duyarlıdır çünkü birden fazla enzimle etiketlenmiş ikincil antikor, antijene bağlı birincil antikora yüksek özgülükle bağlanır ve bu da sinyal amplifikasyonu ile sonuçlanır (Katikireddy ve O'Sullivan, 2011). ELISA nispeten basit bir şekilde gerçekleştirilebilir ve önceden zenginleştirme adımı yapılmazsa, testi gerçekleştirmek için gereken süre bir ile birkaç saat arasındadır (Bari ve Kawasaki, 2014). Çeşitli formatlardaki çok kuyulu plakaların kullanımı, birkaç numunenin eş zamanlı olarak test edilmesini kolaylaştırır ve hatta otomatikleştirilebilir (Posthuma-Trumpie ve ark., 2009). Ancak, ELISA kullanımıyla ilgili bazı dezavantajlar vardır. Antikorların zayıf kimyasal ve fiziksel stabilitesi nedeniyle, depolama için soğutma ve özel tamponlar gerekir. Ayrıca, yeni antikorların üretimi oldukça karmaşık ve pahalı olabilir (Sakamoto ve ark., 2018). ELISA testlerinin geliştirilmesinden bu yana, bitki patojenlerinin tespiti için tarımda geniş uygulama alanı bulmuştur. Örneğin, EPPO yönergeleri tarafından meyve ağaçlarının aşım materyalinde virüslerin varlığını test etmek için ELISA testleri önerilmektedir (Boonham ve ark., 2014). Bugüne kadar, bitki patojenlerini tespit etmek için yeni ELISA testleri de geliştirilmiştir. Örneğin, Gorris ve ark. (2021) yakın zamanda bitki patojeni *Xylella fastidiosa*'nın tespiti için çift antikorlu bir sandviç ELISA'nın (DAS-ELISA) geliştirildiğini açıklamıştır. Bu DAS-ELISA testinin çok spesifik olduğu (gerçek örneklerde hiçbir yanlış pozitif gözlemlenmemiştir) ve 10^4 cfu/mL'lik bir duyarlılıkla güvenilir olduğu kanıtlanmıştır.

2.4. Nükleik Asit Bazlı Analizler

Nükleik asit (DNA veya RNA) dizileri, patojenik mikroorganizmaların tespiti ve tanımlanmasında mükemmel moleküler hedeflerdir ve virus, fungus ve bakteriler için kullanılabilir. Hedef patojene özgü bir genetik dizinin varlığı, polimeraz zincir reaksiyonu (PCR), izotermal amplifikasyon teknikleri ve hibridizasyona dayalı tekniklerle tespit edilebilir. Birçok farklı teknik mevcuttur, ancak bitki patojenlerini tespit etmek için en yaygın kullanılan yöntemler aşağıda daha ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

Birçok nükleik asit bazlı ve özellikle PCR bazlı teknik için ortak olan, numunedeki hedef patojenin çıkarılan DNA'sının (veya RNA'sının) yüksek saflıkta olması gerektiğidir, çünkü çoğu nükleik asit bazlı analiz, birlikte çıkarılabilecek inhibitörlere duyarlıdır. Özellikle bitki patojeni tespiti durumlarında, örnekler genellikle bitki dokusu veya toprak gibi zor matrislerden oluşur. Bu tür örneklerde polisakkaritler, fenolik bileşikler, humik asitler veya ağır metallerin varlığı nükleik asit bazlı analizlerin performansını düşürmektedir (Lievens ve Thomma, 2005; López ve ark., 2009). Ancak, saf DNA elde etmek için çok çeşitli farklı ekstraksiyon protokolleri mevcuttur. Bunlar çok basit (örneğin, ticari olarak satılan kitler) ile zor matrisler için özel olarak geliştirilen ve ön işlemleri (örneğin, sıvı nitrojenle), ek enzimatik adımları vb. içeren DNA ekstraksiyon prosedürleri gibi oldukça karmaşık olabilir (López ve ark., 2009). Son olarak, bazı DNA ekstraksiyon yöntemlerinin kullanımı, laboratuvar dışında gerçekleştirilmesi zor olduğundan laboratuvar dışı uygulamalar için uygun değildir. Bu nedenle, minimum ekipman gerektiren DNA elde etme yöntemleri geliştirilmiştir. Bu tür laboratuvar dışı DNA çıkarma yöntemlerinin örnekleri farklı alanlarda incelenmiştir (Lau ve Botella, 2017; Paul ve ark., 2020). Nükleik asit bazlı analizlerle ilişkili bir diğer yaygın sorun, canlı mikroorganizmaları cansız olanlardan ayırt etmekte zorluk çekmeleridir, çünkü DNA organizmalar öldükten sonra bile numunede önemli bir süre stabil kalabilmektedir

(Lievens ve Thomma, 2005; López ve ark., 2009; Narayanasamy, 2011). Bu sorunu aşmanın yolları vardır, örneğin RNA'yı özellikle hedef almak, çünkü genellikle hücrenin dışında hızla bozulur. Ancak, bitki patojeni tespiti için alınanlar gibi zor örnek matrislerinden sağlam ve etkili RNA çıkarımı her zaman basit değildir ve bazı matrislerde RNA beklenenden daha uzun süre stabil kalmaktadır (Lievens ve Thomma, 2005; Kralik ve Ricchi, 2017; Schostag ve ark., 2020). Alternatif olarak, "canlı/ölü problemler" kullanılabilir. Bunlar, propidium monoazid (PMA) ve etidium monoazid (EMA) gibi (sağlam) hücre zarından geçemeyen ve bu nedenle yalnızca serbest DNA'ya bağlanabilen bileşiklere dayanır. Bağlandıktan sonra, serbest DNA daha fazla amplifikasyon için hariç tutulur, böylece yalnızca sağlam hücrelerden ve dolayısıyla canlı hücrelerden çıkarılan DNA, PCR için bir şablon görevi görebilir. Bununla birlikte, bu tür problemler ölü hücreleri canlı hücrelerden ayırmada karışık bir başarı göstermiştir ve bu nedenle bitki patojenlerinin tespitinde bu teknik yaygın olarak kullanılmamaktadır (Lievens ve Thomma, 2005; Kralik ve Ricchi, 2017).

2.4.2. Geleneksel PCR ve Çeşitleri

Polimeraz zincir reaksiyonu (PCR), oligonükleotid primerleri, bir DNA polimeraz enzimi, dNTP'ler ve bir termal döngüleyici kullanarak spesifik DNA parçalarını çoğaltmak için kullanılan bir tekniktir. İyi primer tasarımı, hedeflenen patojen için benzersiz olan spesifik bir DNA parçasının çoğaltılmasına olanak tanır. Beklenen boyutta bir PCR parçasının tespiti, hedef patojenin varlığını doğrulamak için kullanılır (Zhao ve ark., 2014; Shen, 2019). Geleneksel bir PCR (cPCR) analizlerinin çalışma süresi zaman alıcı olabilir ve bu da cPCR'nin en büyük dezavantajlarından biri olarak kabul edilir. PCR, spesifik ve oldukça hassas bir tekniktir. Teoride, Poisson istatistiklerine göre, teknik hedef nükleik asitlerin 3 kopyası kadar düşük bir şekilde amplifikasyon yapabilir, ancak pratikte tespit sınırı büyük ölçüde numune türüne, DNA ekstraksiyonunun verimliliğine ve amplifikasyonun verimliliğine

bağlıdır ve bunlar da PCR kurulumundan ve primer tasarımından etkilenir (Kralik ve Ricchi, 2017). Yüksek hassasiyet, düşük miktarda, yavaş gelişen veya kültüre alınamayan mikroorganizmaları tespit etmeye olanak sağlar. PCR'nin özgülüğü büyük ölçüde hedef mikroorganizmanın genetik bilgisinin mevcudiyetine dayanan yüksek seçici primerlerin uygun şekilde tasarlanmasına bağlıdır (Schaad ve ark., 2003). Primerler yalnızca ilgi duyulan genetik dizilerin çoğaltılacağı ve yanlış pozitif sonuçların önleneyeği şekilde dikkatlice tasarlanmalıdır. Bu nedenle bir PCR testinin duyarlılığı ve özgülüğü her zaman vaka bazında değerlendirilmeli ve doğrulanmalıdır (Lopez ve ark., 2009). Yüksek duyarlılık ve özgülüğe ek olarak PCR, geleneksel kültür tabanlı yöntemlerden de önemli ölçüde daha hızlıdır ve sonuçlar birkaç saat içinde elde edilebilir (Mandal ve ark., 2011; Priyanka ve ark., 2016; Ferone ve ark., 2020). Ancak, PCR tabanlı yöntemlerin bazı dezavantajları da vardır: 1) Örneklerdeki olası inhibitörlere karşı hassastır, bu da yanlış negatif sonuçlara yol açar; 2) Canlı hücreleri cansız hücrelerden ayırt edemez; 3) Bir laboratuvar ortamı gerektirir; 4) PCR, örneğin viral patojenlerin tespiti için RNA hedeflerini çoğaltamaz; 5) Geleneksel PCR'da hedef patojenin kantifikasyonu mümkün değildir; ve 6) Yüksek hassasiyet, işleme sırasında diğer örneklerden taşınan spesifik olmayan çoğaltma veya kontaminasyon nedeniyle yanlış pozitif sonuçlar elde etme riskini arttırabilir (Ward ve ark., 2004; Lopez ve ark., 2009). Bu dezavantajların bazılarını aşmak için, birkaç PCR yöntemi geliştirilmiştir. En sık kullanılan PCR çeşitlerinden ters transkriptaz PCR (RT-PCR) olup, RNA hedefleri için özellikle canlı bitki hücrelerinden RNA virüslerinin tespiti için faydalı olabilmektedir (Lopez ve ark., 2009). RT-PCR, RNA şablonunun tamamlayıcı bir DNA (cDNA) ipliğine kopyalandığı bir ters transkripsiyon adımını içerir. cDNA daha sonra geleneksel bir PCR reaksiyonunda şablon olarak kullanılır ve bunu genellikle amplifikasyon ürününü tespit etmek için jel elektroforezi izler (Li ve Hartung, 2007). Multipleks PCR, aynı PCR reaksiyonunda farklı genetik dizileri hedeflemek üzere tasarlanmış iki veya daha fazla primer

seti kullanır. Bu, birden fazla hedef patojenin eş zamanlı olarak tespit edilmesini sağlar. Ancak, primerler farklı primer setlerinin primerleri arasındaki etkileşimi önlemek için dikkatlice tasarlanmalı ve ayrıca beklenen PCR ürünlerinin jel elektroforezi ile ayırt edilmesine izin veren farklı boyutlarda DNA hedeflerini çoğaltmalıdır (Shen, 2019). Sonuç olarak, eş zamanlı olarak çoğaltılabilen hedef patojen sayısı oldukça sınırlıdır. Bir multipleks PCR reaksiyonunun başlangıçta geliştirilmesi önemli çaba gerektirse de doğrulandıktan sonra her PCR çalışması için zamandan, emekten ve maliyetli reaktiflerden tasarruf sağladığı için yöntemin tanı yeteneklerini artırır (Elnifro ve ark., 2000). Bununla birlikte, multipleks PCR'nin dezavantajlarından biri, birden fazla primer çiftinin varlığı nedeniyle spesifik olmayan DNA çoğaltılmasına ve dolayısıyla yanlış pozitif sonuçlara daha yatkın olmalarıdır (Lau ve ark., 2017). Ayrıca, multipleksleme duyarlılığı tehlikeye atabilir, çünkü genellikle belirli bir hedef daha verimli bir şekilde çoğaltılır ve diğer hedeflerin çoğaltımını geride bırakabilir (Elnifro ve ark., 2000; Okubara ve ark., 2005).

Başka bir PCR yöntemi, iki ardışık amplifikasyon turuna dayanan iç içe PCR olan nested PCR (nPCR) olarak bilinen PCR yöntemidir. İlk PCR, hedef DNA'nın daha büyük bir bölgesini çoğaltan bir dizi (dış) primer kullanır. İlk PCR ürünü daha sonra, ilk primer seti tarafından çoğaltılan dizinin içindeki bir diziye bağlanan (iç) primerler kullanılarak ikinci amplifikasyon turunda bir şablon olarak kullanılır (Shen, 2019). Bu teknik genellikle yüksek (birleştirilmiş) toplam PCR döngüsü sayısı nedeniyle daha hassas bir tespitle sonuçlanır. nPCR'nin yüksek hassasiyeti, onu özellikle düşük titreli patojenlerin tespiti için yararlı hale getirmektedir. nPCR genellikle geleneksel PCR'ye kıyasla daha yüksek bir özgüllüğe sahiptir çünkü ilk amplifikasyon turundan gelen özgül olmayan PCR ürünlerinin iç primerler için bağlanma bölgeleri içermesi çok olası değildir (Lopez ve ark., 2009; Shen, 2019). Öte yandan, ardışık PCR reaksiyonları arasında kontaminasyon riski daha yüksek olabilir.

Ayrıca, nPCR, esasen test başına iki PCR reaksiyonunun gerçekleştirilmesi gerektiği gerçeğinden dolayı daha maliyetli ve emek yoğun bir yöntemdir (Lopez ve ark., 2009; Mancini ve ark., 2016; Nair ve Manimekalai, 2021).

2.4.3. Kantitatif PCR

Kantitatif PCR (qPCR), gerçek zamanlı PCR olarak da adlandırılır, geleneksel PCR ile aynı çalışma prensibiyle çalışır, ancak temel fark, çoğaltılan DNA'nın yukarıda açıklanan bir uç nokta tespiti yerine PCR reaksiyonu sırasında gerçek zamanlı olarak ölçülmesidir (Shen, 2019). Floresan dsDNA bağlayıcı boyalar veya diziyeye özgü probler eklemek, floresan yoğunluğu DNA amplifikasyonunun bir ölçüsü olduğundan, her döngüden sonra çoğaltılan DNA miktarının değerlendirilmesine olanak tanır (Postollec ve ark., 2011). Sık kullanılan SYBR green boyası gibi dsDNA bağlayıcı boya kullanımı daha ucuzdur, ancak bu tür boya kullanımı aynı zamanda spesifik olmayan amplifikasyon ürünlerine de bağlanması dezavantajına sahiptir. Spesifik olmayan amplifikasyonu kontrol etmek için, qPCR'nin bitiminden sonra bir erime eğrisi (T_m) analizi yapılabilir (Okubara ve ark., 2005; Mirmajlessi ve ark. 2015). qPCR'de TaqMan problemleri, moleküler işaretler ve scorpion problemleri dahil olmak üzere farklı tipte diziyeye özgü probler kullanılabilir. Bu tür problemler, floresans yalnızca prob hedef dizisiyle hibridize olduğunda yayıldığı için dsDNA bağlayıcı boya kiyasla daha yüksek özgüllük gösterir. Farklı hedefleri hedefleyen farklı floresanla etiketlenmiş problemler kullanıldığında, reaksiyon başına maksimum 4-6 genetik hedefle (sınırlı) multipleks PCR' a da olanak tanımaktadır (Rajagopal ve ark., 2019). Duyarlılık ve özgüllük açısından geleneksel multipleks PCR'dekine benzer zorluklar geçerlidir (Okubara ve ark., 2005). Prob kullanmanın dezavantajı, genellikle Syber green kullanımından daha pahalı olmalarıdır (Okubara ve ark., 2005; Mirmajlessi ve ark., 2015). İlginç bir şekilde, floresan sinyalinin belirli bir eşiği aştığı PCR döngüsünün (eşik döngüsü CT veya kantifikasyon döngüsü CQ olarak adlandırılır)

başlangıçta örnekte bulunan hedef DNA'nın logaritmasına ters orantılı olduğu gösterilmiştir. Bu şekilde, bir örnekte bulunan DNA konsantrasyonu ve dolayısıyla hedef patojen, bilinen DNA şablon konsantrasyonlarına sahip numuneler için CT değerlerinin belirlendiği standart bir eğri kullanılarak kantifikasyon sağlanabilir (Shen, 2019). Bitki patojeni tespiti için qPCR kullanımının bazı avantajları bulunmaktadır. qPCR, esas olarak iki nedene dayalı geleneksel PCR'den daha hassastır: 1) Enstrümantal floresan ölçümleri, jel elektroforezinden sonra bir DNA parçasının görüntülenmesinden daha hassastır ve 2) qPCR hedefleri genellikle kısadır (70-150 bp) ve daha etkili şekilde çoğaltılır (Smith ve Osborn, 2009; Schena ve ark., 2013; Mirmajlessi ve ark., 2015). Artan hassasiyet, hastalık belirtileri görülmeden önce bile patojenlerin erken tespiti için onu değerli bir araç haline getirmektedir (Okubara ve ark., 2005). Ayrıca, jel elektroforezinin gerekli olmaması, daha hızlı bir analiz süresi sağlamak ve otomasyona daha yatkın hale getirmektedir (Postollec ve ark., 2011; Law ve ark., 2015). Bu yöntemin, en büyük potansiyeli, patojenin miktarının belirlenebilmesidir. Bu avantaj, sahada hastalıklarla mücadelenin gerekli olduğu patojen seviyesinin belirlenmesine olanak sağlar ki bu da kimyasal pestisitlerin daha az sıklıkta uygulanmasına ve daha etkili ve sürdürülebilir bir hastalık yönetim stratejisinin ortaya çıkmasını sağlayabilir (Okubara ve ark., 2005).

2.4.4. Dijital damlacık (Digital droplet) PCR

Dijital damlacık PCR (ddPCR), geleneksel PCR ile aynı prensiplere dayanır, ancak bir örnekteki nükleik asitlerin mutlak kantifikasyonuna olanak tanır (Hindson ve ark., 2011). Bu teknikte, bir örnekteki DNA yaklaşık 20.000 minik su-yağ damlacığına bölünür ve ideal olarak her damlacık şablon DNA'nın hiçbir kopyasını içermez veya tek bir kopyasını içerir (Hindson ve ark., 2011; Hayden ve ark., 2013; Chen ve ark., 2021). Damlacıkların her biri, hedef patojene özgü bir DNA bölgesinin (varsa) çoğaltıldığı ayrı bir PCR reaksiyon kabı görevi

görür. Floresan problemlerin veya ara boyaların eklenmesi, bir PCR reaksiyonunun meydana gelip gelmediğini tespit etmeyi sağlar. Elde edilen damlacıklar daha sonra floresansı belirlemek için birer birer mikro akışkanlık sisteminden geçirilir (Hindson ve ark., 2011; Zhao ve ark., 2016). Poisson istatistiklerinin kullanımıyla, bir amplikon içeren damlacık sayısı, orijinal örnekte bulunan şablon DNA miktarını belirlemek için kullanılabilir (Hindson ve ark., 2011; Hoshino ve Inagaki, 2012; Chen ve ark., 2021). Dijital damlacık PCR'nin gerçek zamanlı PCR'ye göre bazı avantajları vardır. Öncelikle, kantifikasyon için kalibrasyon eğrisine ihtiyaç yoktur ve mevcut DNA doğrudan bir şekilde kantifikasyon edilir. Bu, kantifikasyonu daha güvenilir hale getirir çünkü gerçek örnekler, kalibrasyon eğrisini ayarlarken elde edilenlerden farklı amplifikasyon verimliliklerine sahip olabilir (Hayden ve ark., 2013; Taylor ve ark., 2017). ddPCR, qPCR'ye kıyasla PCR inhibitörlerine karşı daha hassas ve daha dirençlidir. ddPCR uç nokta tespitine dayandığından, bu teknik, qPCR'de olduğu gibi, PCR reaksiyonunun kendisinin amplifikasyon etkinliğine daha az bağımlıdır (Taylor ve ark., 2017). *Xanthomonas citri* sp. *citri*'yi tespit etmek için qPCR ve ddPCR yöntemlerinde PCR inhibitörlerine karşı duyarlılığı ve direnci değerlendiren bir çalışma, qPCR ve ddPCR için sırasıyla 36 cfu/20 mL ve 5 cfu/20 mL'lik bir tespit sınırının elde edildiğini göstermiştir. Ayrıca, inhibitörlere karşı duyarlılığı değerlendirmek için ddPCR'nin artan narenciye yaprağı özütü konsantrasyonlarının varlığında qPCR'den daha iyi performans gösterdiği ortaya çıkarılmıştır (Zhao ve ark., 2016). Tüm bunlar, ddPCR'yi toprak gibi karmaşık örnek matrislerinin analizi için daha kullanışlı hale getirir ve bu da bitki patojenlerini tespiti alanında katma değer sağlamaktadır (Hoshino ve Inagaki, 2012; Chen ve ark., 2021). Öte yandan, günümüzde ddPCR halen qPCR'den daha pahalıdır. Test başına maliyet yaklaşık 2,3 kat daha yüksektir (Hindson ve ark., 2011; Morcia ve ark., 2020; Maheshwari ve ark., 2021). Ayrıca, daha karmaşık bir iş akışı, reaksiyonların son noktasına ulaşması gerektiği ve mikroakışkan floresan ölçümleri

nedeniyle test qPCR'ye kıyasla yaklaşık 2-3 kat daha uzun sürer (Hindson ve ark., 2011; Morcia ve ark., 2020; Maheshwari ve ark., 2021). Son olarak, ddPCR'nin qPCR'ye kıyasla kantifikasyon için daha düşük bir dinamik aralığı vardır, çünkü sınırlı sayıda damlacık hedef DNA ile doygunluğa ulaştığında doğru kantifikasyonu engelleyebilir (Ricchi ve ark., 2017; Morcia ve ark., 2020).

Bitki patojenlerini tespit için geliştirilen ddPCR yöntemlerinin son örnekleri arasında *Xylella fastidiosa*'nın tespiti için bir ddPCR testi (Dupas ve ark., 2019), *Acidovorax citrulli* (Lu ve ark., 2020), *Tilletia controversa* (Liu ve ark., 2020) ve enfekte şeftali yapraklarından çıkarılan şeftali latent mozaik viroidlerinin tespiti için bir RT-ddPCR (Lee ve ark., 2021) yer almaktadır. ddPCR, bitki patojeni tespitinde multipleks PCR uygulamaları için de uygundur. Bunlar arasında *Candidatus Liberibacter asiaticus* ve *Spiroplasma citri*'nin tespiti için bir multipleks ddPCR testi (Maheshwari ve ark., 2021) bulunmaktadır. Tüm bu çalışmalar ddPCR'nin karmaşık örneklerdeki düşük titreli patojenlerin izlenmesi için oldukça değerli olan hassas ve güvenilir bir yöntem olduğunu göstermiştir.

2.4.5. İzotermal nükleik asit amplifikasyonu

Bitki patojeni tespiti için PCR tabanlı yöntemler yaygın bir uygulama olmasına rağmen, bunların saha içi tespit ve tanılamada kullanımı genellikle termal döngüleyici ve yüksek oranda saflaştırılmış DNA gereksinimiyle sınırlıdır (Lau ve Botella, 2017). İzotermal amplifikasyon tekniklerinin kullanımı değerli bir alternatif olarak kendini göstermektedir. İzotermal amplifikasyon teknikleri, termal döngüleme ekipmanı gerektirmeyen, bunun yerine DNA iplikçiklerini değiştiren DNA polimerazlarının kullanımına dayanan amplifikasyon mekanizmalarını kullanır. Analizleri gerçekleştirmek için termal döngüleyiciler yerine ısıtma blokları gibi basit ekipmanlar kullanılabilir (Ivanov ve ark., 2021). İzotermal amplifikasyonun bir diğer avantajı da bu tekniklerin yüksek oranda saflaştırılmış DNA gerektirmemesidir.

Birkaç tespit tekniği izotermal amplifikasyon kullanır; bunlardan döngü aracılı izotermal amplifikasyon (LAMP) ve rekombinasyon polimeraz amplifikasyonudur (RPA) (Becherer ve ark., 2020). LAMP kullanmanın avantajları, öncelikle izotermal amplifikasyon ve ölçüm için basit ekipmanın kullanılabilmesi ve bunun da sahada uygulamaya olanak sağlamasıdır. Kullanılan primerlere ve DNA çıkarma prosedürüne bağlı olarak, analiz süresi çok kısadır (<30 dakika). LAMP analizleri, PCR inhibitörlerinin varlığında daha sağlamdır ve bu nedenle birçok LAMP protokolü yalnızca numunelerin ham özütlerini gerektirir. LAMP için minimal işleme prosedürleri arasında bitki dokusunun öğütülmesi, lizis tamponu eklenmesi, numunelerin kaynatılması vb. yer alır. Minimum numune hazırlamanın gerekli olması, analiz süresinin ve maliyetinin azalmasına yol açar. Öte yandan, numune hazırlama işlemine DNA çıkarma da dahil edildiğinde, analizin duyarlılığı artar. Başlıca dezavantajlardan biri, LAMP'ın genel olarak yalnızca nitel analizler için yararlı olmasıdır. Ancak, son çalışmalar, bir sinyal eşliğine ulaşma süresinin numunede bulunan başlangıçtaki DNA/patojen miktarıyla ilişkilendirildiği qPCR'ye benzer bir strateji kullanılarak kantifikasyonun mümkün olabileceğini öne sürmektedir (Nguyen ve ark., 2020). Bu, saha içi uygulamayı sınırlamaz çünkü sinyalin bir akıllı telefon kamerası veya Optigene Genie II gibi taşınabilir bir floresan ölçüm ve ısıtma cihazı kullanılarak kantifize edilebileceği gösterilmiştir (Becherer ve ark., 2020; Enicks ve ark., 2020; Nguyen ve ark., 2020). Bununla birlikte, LAMP'ın kantifikasyon doğruluğunun, özellikle kantifikasyon aralıklarının alt ucunda qPCR'den daha düşük olduğu genel olarak kabul edilmektedir (Moehling ve ark., 2021). LAMP'ın bir diğer dezavantajı, karmaşık primer tasarım sürecidir, ancak bu amaç için örneğin, "LAMP Tasarımcısı" veya "NEB LAMP" (Jia ve ark., 2019) gibi primer tasarım araçları mevcuttur, Optimal olmayan primerler, spesifik olmayan ürünlerin ve primer dimerlerinin oluşumuna yol açabilir. Spesifik veya spesifik olmayan ampikonlardan kaynaklanan floresan sinyalin ayırt etmenin bir yolu olmadığından, bu yanlış pozitif sonuçlara yol açabilir

(Ivanov ve ark., 2021). Bu durumlarda, floresan probalar gibi diziye özgü tespit yöntemlerinden yararlanmak tavsiye edilebilir, ancak bu daha pahalı bir floresan ölçüm cihazının kullanımını gerektirir. Başka bir risk, yukarıda tartışıldığı gibi, amplifikasyon sonrası görselleştirme ve örnek işleme sırasında amplifikasyon ürünüyle taşınma kontaminasyonu olasılığıdır (Gomez-Gutierrez ve Goodwin, 2022). Bu nedenle, genellikle kapalı tüp reaksiyon görselleştirmesi tercih edilir. Teoride, multipleks LAMP analizleri mümkün olabilir, ancak genellikle primer tasarımının karmaşıklığı ve spesifik olmayan amplifikasyon riski nedeniyle geliştirilmesi çok zordur (Craw ve Balachandran, 2012; Becherer ve ark., 2020; Ivanov ve ark., 2021).

2.4.8. CRISPR-Cas Tabanlı Tespit Yöntemleri

Genel olarak CRISPR-Cas tabanlı moleküler araçların moleküler biyolojide devrim yarattığı ve özellikle çok çeşitli farklı organizmalarda bölgeye yönelik mutagenesi kolaylaştırdığı kabul edilmektedir (Doudna ve Charpentier, 2014). Genom düzenleme için geniş kullanımına ek olarak, son birkaç yıldır CRISPRCas sistemlerinin moleküler tanılamadaki potansiyeli, yüksek özgüllüğü ve bu sisteme özgü esneklik nedeniyle giderek daha fazla araştırılmaktadır (Kaminski ve ark., 2021; Huang ve ark., 2022). Farklı Cas varyantlarının kullanımına dayanan patojen tespit araçları geliştirmek için çeşitli stratejiler geliştirilmiştir. Genel olarak, bu stratejiler genellikle DNA ekstraksiyonuna ve ardından Cas proteininin patojene özgü bir DNA motifine bağlanmasına dayanır. Böyle bir bağlanma olayı ve dolayısıyla patojenik DNA'nın varlığı, floresan veya elektrokimyasal bir sinyal, görsel olarak değerlendirilen bir kolorimetrik reaksiyon veya bir yanak akış cihazında görsel bir sinyal olabilen ölçülebilir bir sinyalle sonuçlanır (Wang ve ark., 2020). Geniş yelpazedeki CRISPR-Cas tabanlı tespit stratejilerinin kesin metodolojisi bu incelemenin kapsamı dışındadır, ancak bu başka bir yerde mükemmel bir şekilde incelenmiştir (Wang ve ark., 2020; Kaminski ve ark., 2021; Huang ve ark., 2022). CRISPR-Cas tabanlı patojen tespit sistemlerine

birkaç avantaj atfedilmiştir. Genel olarak, düşük maliyetli, son derece hassas ve spesifik oldukları ve prensipte yüksek teknoloji ekipman gerektirmedikleri için laboratuvar dışı tanımlarında kullanılmak üzere yüksek potansiyel gösterirler (Kaminski ve ark., 2021; Huang ve ark., 2022; Karmakar ve ark., 2022). Ek olarak, sistemler genellikle sonuçları zamanında sağlayabilir ve hemen hemen tüm analizler 2 saatten daha kısa sürede gerçekleştirilebilir (Wang ve ark., 2020). Genel olarak, CRISPR-Cas tabanlı tespit sistemlerinin çoğunun hassasiyeti pikomolar aralıktadır (Kaminski ve ark., 2021). Ancak, hedef dizilerin ön amplifikasyonu (örneğin, PCR, LAMP, RPA) birleştirildiğinde, hassasiyet önemli ölçüde artırılabilir. Nokta bakım araçları olma potansiyeline uygun olarak, genellikle LAMP veya RPA gibi izotermal amplifikasyon prosedürleriyle birleştirilirler, ancak PCR tabanlı amplifikasyon da mümkündür (Kaminski ve ark., 2021). Son olarak, CRISPR Cas tabanlı tanılamamanın en büyük avantajlarından biri, SNP'leri veya izolat varyantlarını tespit etme fırsatı sunan tek nükleotid özgüllüğüdür. CRISPR-Cas tabanlı tespit araçlarındaki son gelişmelere rağmen, pratikte yaygın kullanımını engelleyen hala bir dizi dezavantaj ve zorluk bulunmaktadır. Her şeyden önce, tek bir çalışmada birden fazla patojeni değerlendirmek için bazı stratejiler olmasına rağmen, çoklu işlem kapasitesi hala oldukça sınırlıdır (Gootenberg ve ark., 2018; Kaminski ve ark., 2021). İkinci olarak, CRISPR-Cas tabanlı tanılamalar genellikle sıkıcı örnek hazırlama adımları gerektirir (Benzigar ve ark., 2021; Huang ve ark., 2022). Ayrıca, birçok durumda duyarlılığı artırmak ve düşük titreli patojenlerin tespiti için bir ön amplifikasyon adımı gerekir, bu da maliyette ve analiz süresinde önemli bir artışla sonuçlanır (Kaminski ve ark., 2021). Son olarak, yukarıda belirtilen tek nükleotid özgüllüğünün dezavantajı, hedef gendeki tek bir mutasyonun yanlış negatif sonuçlara yol açabilmesidir, bu da özellikle yüksek mutasyon oranına sahip virüslerin tespiti için sorunlu olabilir (Benzigar ve ark., 2021). Şimdiye kadar CRISPR-Cas tabanlı analizler öncelikle tıbbi teşhislerde kullanılmak üzere geliştirilmiş olsa da son çalışmalar

CRISPR-Cas tabanlı analizlerin bitki patojenlerinin tespitinde de kendini kanıtlamıştır (Sharma ve ark., 2021; Karmakar ve ark., 2022).

3. Nükleik Asit Dizileme Yöntemleri

DNA dizilemesi, mikroorganizmaların tanımlanması için yararlı bir araç olarak ortaya çıkmıştır (Reller ve ark., 2007; Barghouthi, 2011; Beye ve ark., 2017). Belirli genetik belirteçleri dizileyerek ve elde edilen diziyi/dizileri bir referans veri tabanı ile karşılaştırarak, bir mikroorganizmanın kimliği belirlenebilir (Barghouthi, 2011). Morfolojik ve fenotipik testler gibi geleneksel tekniklere kıyasla mikroorganizmaları tanımlamak için daha doğru ve tekrarlanabilir bir yöntemdir (Reller ve ark., 2007; Tewari ve ark., 2011). Tespit ve tanımlamada kullanımı, son 15 yılda dizileme teknolojilerindeki büyük evrimle birlikte hızlanmıştır. Birinci nesil dizileme teknolojileri, en popüler olan Sanger dizilemesi, 1000 bp'ye kadar nispeten uzun okumalar üretirken, ancak verim kapasitesi sınırlıdır, ikinci nesil dizileme teknolojileri (örneğin, Illumina ve IonTorrent) nispeten kısa (100-300 bp) ancak muazzam bir verime sahip okumalar üretmektedir. Nanopore veya PacBio dizilemesi gibi üçüncü nesil dizileme teknolojileri, tek molekülleri dizileme ve yüksek verimle ultra uzun okumalar üretme yetenekleriyle karakterize edilir. PacBio dizilemesi daha yüksek doğruluk sağlar, ancak bu platform büyük bir ilk yatırım ve bir laboratuvar ortamı gerektirir. Nanopore dizilemesi, örneğin MinION platformu nispeten düşük maliyetli ve taşınabilir bir sistem olduğundan, bitki patojeni tespiti bağlamında oldukça ümit verici olduğu belirtilmiştir (Loit ve ark., 2019). Ancak, dizileme doğruluğu PacBio dizileme teknolojisinin ve önceki nesil dizileme teknolojilerinin doğruluğundan daha düşüktür. Sanger dizilemesi, yukarıda belirtildiği gibi (yarı)seçici yetiştirmeden sonra belirli izolatların kimlik doğrulaması için daha uygun ve maliyet etkindir. Yüksek verimli 2. ve 3. nesil dizileme teknolojilerinin ortaya çıkmasıyla, dizileme maliyeti önemli ölçüde azalmış ve bu da bunların bir örnekte bulunan bitki patojenlerinin çoklu tespiti için kullanımını kolaylaştırmıştır. Buna

ek olarak, yüksek verimli dizileme mikrobiyal topluluk kompozisyonu hakkında da bilgi sağlayabilir ve kültüre alınamayan organizmaların tespitine olanak tanımaktadır. Patojenlerin multipleks tespiti için yeni nesil dizilemeden yararlanan iki ana yaklaşım bulunmaktadır. Bunlar metagenom ve amplikon dizilemeleridir.

3.1 Metagenomik

Metagenomik, bir örnekte bulunan tüm DNA'nın shotgun dizilemesinin kullanımını içerir (Quince ve ark., 2017). Temel olarak, belirli bir örnekteki tüm DNA çıkarılır ve paralel olarak büyük ölçüde dizilenen daha küçük parçalara kesilir (Sharpton, 2014). Bu, dizi örtüşmesi yoluyla bitişik dizilerden (contig) oluşan bir metagenomda birleştirilen çok sayıda dizileme okumasıyla sonuçlanır. Daha sonra, belirli bir örneğin yeniden yapılandırılmış metagenomu, örnekte bulunan mikroorganizmaların tanımlanmasını sağlayan veya mikropların işlevsel genleri hakkında daha fazla bilgi veren bilgilendirici bölgeleri çıkarmak için kullanılabilir (Quince ve ark., 2017; Lapidus ve Korobeynikov, 2021; Semenov, 2021). Çok sayıda dizileme okumasının bir araya getirilmesi, önemli miktarda hesaplama gücü ve karmaşık veri analizi iş akışları gerektirir. Zorluklardan biri, birbirine yakın türlerin oldukça benzer genomlarını ayırt etmekte yatar. Çünkü; birleştirme işlemi sırasında dizi çakışmasını bulmayı zorlaştırmaktadır. (Quince ve ark., 2017; Lapidus ve Korobeynikov, 2021). Bu yaklaşımda, elde edilen bireysel dizileme okumaları doğrudan bir referans genom veri tabanı ile karşılaştırılır (Quince ve ark., 2017; Lind ve Pollard, 2021). Bu yaklaşımın avantajları, karmaşık birleştirmelerin oluşturulmasının önlenmesi ve analiz süresinin azaltılmasıdır. Dahası, elde edilen diziler doğrudan referans genomlara eşlendiğinden, düşük düzeydeki tür tespiti ile ilişkili sorunları azaltır. Ancak, bu yaklaşımın dezavantajları, söz konusu örnekler için uygun referans veri tabanlarına ihtiyaç duyulması (Ayling ve ark., 2020) ve genellikle daha fazla yanlış pozitif sonuç üretmesidir. Çünkü; evrensel olarak korunan bölgelerin elde

edilen dizileri yanlış mikroorganizmayı belirleyebilir. Ancak, uzun okuma dizilemesi olarak da adlandırılan üçüncü nesil dizilemenin ortaya çıkması, ikinci nesil dizileme yöntemleri kullanıldığında metagenomikte karşılaşılan çeşitli sorunları ortadan kaldırmıştır (Amarasinghe ve ark., 2020). Metagenom dizilemesinin birkaç avantajı bulunmaktadır. Bunlar: 1) Büyük miktarda bilgi birikimi, izolat seviyesine kadar tanımlamayı mümkün kılabilir; 2) Fungus, oomisit ve prokaryotik izolatların eş zamanlı ve PCR yanlılığı olmadan tespitine olanak tanır; 3) Bitki hastalığına neden olan patojen hakkında çok az veya hiçbir ön genetik bilgi gerektirmez (Quince ve ark., 2017; Sekse ve ark., 2017; Semenov, 2021; Aragona ve ark., 2022); ve 4) Henüz kültüre alınamayan mikroorganizmalardan genomların elde edilmesine olanak tanır (Duan ve ark., 2009; Piombo ve ark., 2021). Özellikle viral bitki patojenlerinin tespiti için metagenomik yaklaşımlar faydalıdır. Çünkü virüslerin amplicon dizilemesinde hedeflenen evrensel genleri yoktur ve yukarıda belirtildiği gibi, metagenomik yaklaşım önceden bilgi gerektirmez ve henüz bilinmeyen bitki patojenlerinin tespitini sağlar (Adams ve ark., 2009; Roossinck ve ark., 2015; Adams ve Fox, 2016). Bu avantajlara rağmen, bitki patojeni tespiti için shotgun metagenomiğin düzenli kullanımı hala yaygın değildir. Bunun dört ana nedeni vardır. Birincisi, örnekte bulunan mikroorganizmaları doğru bir şekilde tanımlamak için gereken büyük dizileme derinliği nedeniyle, diğer tekniklere kıyasla çok pahalıdır. İkincisi, konukçu bitki DNA'sı gibi kirlenici veya bilgilendirici olmayan dizilerin varlığı, elde edilen bilgilendirici DNA dizileri üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olabilir. Üçüncüsü, düşük miktarda bulunan türlerin tespiti zordur ve bu da hedeflenen amplicon dizilimine kıyasla belirli patojenleri tespit etmede daha düşük bir hassasiyete neden olur. Son olarak, tespit amaçları için uygun referans genomlarının özellikle bitki patojeni tespiti bağlamında mevcudiyeti hala sınırlıdır (Duan ve ark., 2009; Sharpton, 2014; Quince ve ark., 2017; Piombo ve ark., 2021).

Bununla birlikte, bitki patojenlerinin tespiti için metagenomiğin değerini gösteren birkaç örnek bildirilmiştir (Piombo ve ark., 2021). Örneğin, Arabidopsis yapraklarındaki mikrobiyomu analiz etmek için Illumina tabanlı bir metagenom dizileme yaklaşımı kullanılmıştır. 242 belirteç geninden oluşan bir referans veri tabanı, Protomyces ve Peronospora'nın birkaç patojenik türünün tespitine ve tanımlanmasına olanak sağlamıştır (Lind ve Pollard, 2021). Ayrıca yakın zamanda uzun okuma dizilemesinin tarımsal ve orman fungal patojenlerinin tespiti için de oldukça uygun olduğu gösterilmiştir (Loit ve ark., 2019), diğer çalışmalar ise hem buğday hem de mısırdaki yeni bitki virüslerinin tespiti ve şimşir örneklerinde yanıklık patojeni *Calonectria pseudonaviculata*'nın (Redila ve ark., 2021; Lappe ve ark., 2022) tespiti ve tanımlanması için metagenomik yönteminin değerini göstermiştir (Yang ve ark., 2022). Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar, metagenomiğin bitki patojenlerinin erken ve doğru tespiti için yararlı bir araç olduğunu göstermiştir.

3.2 Amplikon Dizileme

Amplikon dizileme, yani çoğaltılmış bir işaretleyici genin dizilenmesi, mikrobiyal topluluk yapısının karakterizasyonu için popüler bir tekniktir. Metabarkodlama olarak da adlandırılan bu yöntem, hedef popülasyonlar için ortak olan belirli bir işaretleyici genin (DNA barkodu) çoğaltılmasına dayanır. Organizmaların kimliği, çoğaltılmış işaretleyici genlerin DNA dizisinin uygun bir referans veri tabanı ile karşılaştırılmasıyla belirlenir. İşaretleyici gen aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır: 1) Tüm hedef mikroorganizmalarda bulunmalıdır; 2) PCR çoğaltımı için evrensel primerler tasarlamak amacıyla güçlü şekilde korunmuş bölgelere sahip olmalıdır; ve 3) Bu yüksek oranda korunmuş bölgeler, mikroorganizmaları ayırt etmek için özel gen bölgeleri içermelidir (Reller ve ark., 2007; Hugerth ve Andersson, 2017; Bush ve ark., 2019). Bakteriyel popülasyonların belirlenmesinde en sık kullanılan belirteç geni 16S ribozomal RNA genidir, funguslar için ise ribozomal

RNA'daki dahili transkripsiyonlu aralayıcı (ITS) yaygın olarak kullanılır (Abdelfattah ve ark., 2018; Piombo ve ark., 2021; Semenov, 2021). Organizmaların kimliği, amplifikasyon edilen belirteç genlerinin DNA dizisinin uygun bir referans veri tabanı ile karşılaştırılmasıyla belirlenir. Ancak, 16S rRNA ve ITS genellikle yakından ilişkili izolatları ayırt etmek için yeterli bilgi sağlamaz. Bu durumda, ek belirteç genlerinin dizilenmesi gerekir. Amplikon dizilemesinin birkaç avantajı vardır. İlk olarak, metagenom dizilemesiyle karşılaştırıldığında, dizileme kapasitesi yalnızca tanımlama amaçlı işaretleyici genlerin DNA dizisini belirlemek için kullanılır ve bitki DNA'sını veya mikrobiyal genomların bilgilendirici olmayan kısımlarını dizilemek için kullanılmaz, bu da tekniği daha uygun maliyetli hale getirir (Sharpton, 2014; Piombo ve ark., 2021). İkincisi, nispeten kullanıcı dostu bir arayüz sağlayan çok sayıda yerleşik veri analizi hattı da vardır (Vasar ve ark., 2021). Üçüncüsü, tanımlama amaçları için çok sayıda referans dizisi mevcuttur (Abdelfattah ve ark., 2018). Son olarak, metagenom dizilemesiyle karşılaştırıldığında, bu yaklaşım, düşük miktarda bulunan türlerin tespitini veya düşük biyokütleli (mikrobiyal yük) örneklerin analizini sağlayan PCR amplifikasyon adımı nedeniyle daha hassastır (Sekse ve ark., 2017). Tekniğin dezavantajları da vardır. Çünkü çoğu durumda hedef organizmaların sadece kısa tek bir işaretleyici geni çoğaltılır, sınırlı taksonomik çözünürlük elde edilir ve genellikle sadece cins seviyesine kadar (veya bazı durumlarda en iyi ihtimalle tür seviyesine kadar) tanımlama elde edilebilir (Abdelfattah ve ark., 2018). Bu, yakından ilişkili türlerin patojenik veya patojenik olmayan bitki patojenlerinin tespiti durumunda özellikle önem taşımaktadır (Tedersoo ve ark., 2019). Ancak, üçüncü nesil dizileyicilerin kullanımı, örneğin Illumina ile karşılaştırıldığında daha büyük işaretleyicilerin dizilenmesine olanak tanır ve bu da türlere kadar ve hatta potansiyel olarak izolat seviyesine kadar doğru taksonomik tanımlamayı önemli ölçüde geliştirir. Bu, gelenekselden daha büyük amplikonların

dizlendiği Nanopore ve PacBio platformları için gösterilmiştir (Benitez-Paez ve Sanz, 2017; Tedersoo ve ark., 2018; Graf ve ark., 2021).

4. SONUÇ

Verim kayıplarını azaltmak için patojenleri mümkün olduğunca erken ve tercihen hastalık belirtileri görülmeden önce tespit etmek son derece önemlidir. Gelişmiş ve etkili tanı ve tespit yöntemleri, kimyasal pestisitlerin kullanımını mutlak minimuma indirmeyi ve böylece daha sürdürülebilir bir tarıma katkıda bulunmayı amaçlayan entegre zararlı yönetiminde önemli bir temeldir. Uzaktan algılama teknolojilerinin kullanımı bu konuda olası bir çözüm sağlayabilir, çünkü bitkilerin stres gösterdiği alanların, görünür hastalık belirtileri göstermeden önce bile, yerleştirilmesine olanak tanır. Bununla birlikte, bitki patojenleri için kullanılan tanı ve tespit araçları, bitki hastalıklarını izlemek için sahada kullanımlarının çok ötesine geçen uygulamalara sahiptir. Büyüyen küresel ticaret nedeniyle, bitki patojenlerinin yayılma riski önemli ölçüde artmıştır. Bu, ithalat ve ihracat ürünlerinin yeterli şekilde izlenmesini ve gerekirse uygun bitki sağlığı önlemlerinin (PM) uygulanmasını gerektirir. Bu nedenle bitkilerin ithalatı veya ihracatı genellikle bitki pasaportları veya bitki sağlığı sertifikaları gerektirir; bunlar, örneğin AB düzenlemesinde (Yönetmelik (AB), 2017/625) (Buja ve ark., 2021) belirtildiği gibi, bitkilerin patojen içermediğini garanti eder. Ulusal Bitki Koruma Örgütlerine (NPPO) bitki zararlıları ve hastalıklarının kontrolünde yardımcı olmak için EPPO, bitki zararlıları ve hastalıklarının izlenmesi ve bunlara karşılık gelen bitki sağlığı önlemleri hakkında kılavuzlar ve öneriler içeren standartlar yayınlamıştır. Örneğin, EPPO, bitki patojenleri ve karantina organizmalarının özel bir listesinin varlığını izlemek için uygulanan belirli tanı protokollerinin (EPPO Standartları-PM7 Düzenlenmiş Zararlılar İçin Tanı Protokolleri) kapsamlı bir genel bakışını sunar (EPPO Standartları-PM1 Genel Bitki Sağlığı Önlemleri). Bu, her patojen için bir dizi doğrulanmış analizin (örneğin, plaka sayım yöntemleri, bitki

hastalıkları) gerektiği anlamına gelir. Bu teknikler şu anda altın standart olmasına ve otorite tarafından önerilmesine rağmen, eğitilmiş personele ihtiyaç duyulması, yüksek maliyetler ve bazı durumlarda (çok) geç tespite yol açan özellikle uzun bir işlem süresi gibi dezavantajları vardır (Buja ve ark., 2021). Bu, hızlı, hassas, patojenin doğru bir şekilde tanımlanmasına ve kantifikasyonuna izin veren, tek bir testte birden fazla patojeni tespit edebilen, düşük maliyetli ve laboratuvar dışı kullanılabilen tespit tekniklerinin geliştirilmesine olan ihtiyacı açıkça göstermektedir.

Bu çalışmada ele alınan tekniklerden kültüre dayalı tekniklerin basitlikleri ve düşük maliyetleri nedeniyle hala değerli olsa da özgüllük, duyarlılık ve analiz süresiyle ilgili ciddi sınırlamalara sahiptir. Buna karşılık, immünolojik analizler yüksek özgüllük, hızlı analiz süresi, sınırlı numune hazırlama ile karakterize edilir ve birkaç saat içinde gerçekleştirilebilir. Ancak, immünolojik analizler genellikle düşük duyarlılığa sahiptir. PCR tabanlı yaklaşımlar yüksek duyarlılığı yüksek özgüllük ve hızlı analiz süresiyle birleştirir, ancak DNA/RNA ekstraksiyonu için daha fazla numune hazırlama süresi gerektirir ve tercihen laboratuvar ortamında yapılır. İzotermal amplifikasyon teknikleri bunu aşabilir ve sınırlı veya hiç numune hazırlama, basit bir ısı bloğu ve sonuçların kullanıcı dostu bir şekilde yorumlanması gerektirdiğinden sahada tespit için mükemmel şekilde uygundur. İzotermal nükleik asit amplifikasyon tekniklerini, örneğin yanal akış cihazı kullanarak, kolay yorumlama prosedürleriyle birleştirmek, amplifikasyon sonuçlarının hızlı yorumlanmasına olanak tanır. Ancak, geleneksel PCR ve izotermal amplifikasyon, qPCR yöntemlerinin aksine, genellikle patojenleri ölçme kapasitesinden yoksundur.

Bazı durumlarda (örneğin, multipleks PCR) birkaç patojen aynı anda tespit edilebilse de çoğu durumda her bir hedef patojeni tespit etmek için özel olarak geliştirilmiş ve doğrulanmış bir test kullanılmalıdır. Amplikon veya metagenom dizilemesinin rutin

kullanımı, nispeten yüksek maliyetler nedeniyle hala sınırlıdır. Bu konuda en umut vadeden, uzun okumaları ikinci nesil dizileyicilerin kısa okumalarına kıyasla daha iyi tanımlama potansiyeli sağlayan üçüncü nesil dizileyiciler gibi görünmektedir. Son on yılda bitki patojeni tespiti için birkaç yeni teknoloji ortaya çıkmış olsa da bunların yalnızca saf kültürler veya saf DNA örnekleriyle değil, aynı zamanda hedef patojenle güçlendirilmiş bitki örnekleriyle de özgüllük ve duyarlılık açısından kapsamlı bir şekilde doğrulanması çok önemlidir. Ayrıca, her yeni teknik daha geleneksel yöntemlerle kıyaslanmalı ve pratikte kullanılmadan önce maliyet açısından da etkili olmalıdır (Cardwell ve ark., 2018).

Sonuç olarak, ideal tanı ve tespit yönteminin henüz mevcut olmadığı ve hangi yöntemin kullanılacağına seçimi, büyük ölçüde hedef patojene, mevcut bütçeye, örneğe ve teknolojinin kullanılabilirliğine bağlı olduğu açıktır. Ancak, modern bitki hastalığı izlemede yeni teknolojilerin geliştirmesi için sürekli çalışmaların sürdürülmesi kaçınılmaz görünmektedir.

KAYNAKÇA

- Abdelfattah, A., Malacrino, A., Wisniewski, M., Cacciola, S. O., and Schena, L. (2018). Metabarcoding: A powerful tool to investigate microbial communities and shape future plant protection strategies. *Biol. Control* 120: 1–10.
- Adams, I., and Fox, A. (2016). “Diagnosis of plant viruses using next-generation sequencing and metagenomic analysis.” In Wang, A. and Zhou, X. (eds.). *Current research topics in plant virology*. Springer International Publishing, Switzerland. p.323-335.
- Adams, I. P., Glover, R. H., Monger, W. A., Mumford, R., Jackeviciene, E. Navalinskiene, M., Samuitiene, M., Boonham, N. (2009). Next-generation sequencing and metagenomic analysis: A universal diagnostic tool in plant virology. *Mol. Plant Pathol.* 10 (4): 537–545.
- Ahmad, F., Babalola, O. O., and Tak, H. I. (2012). Potential of MALDI-TOF mass spectrometry as a rapid detection technique in plant pathology: Identification of plant associated microorganisms. *Anal. Bioanal. Chem.* 404 (4): 1247–1255.
- Alhadj M, Zubair M, Farhana A. (2023). Enzyme Linked Immunosorbent Assay. [Updated 2023 Apr 23]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): Stat Pearls Publishing; 2024 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK555922/>
- Alvarez, A. M. (2004). Integrated approaches for detection of plant pathogenic bacteria and diagnosis of bacterial diseases. *Annu. Rev. Phytopathol.* 42 (1): 339–366.
- Amarasinghe, S. L., Su, S., Dong, X., Zappia, L., Ritchie, M. E., and Gouil, Q. (2020). Opportunities and challenges in long-read sequencing data analysis. *Genome Biol.* 21 (1): 30-46.
- Antil S., Abraham, J.S., Sripoorna, S., Maurya, S., Dagar, J., Makhija, S., Bhagat, P., Gupta, R., Sood, U., Lal, R., Toteja, R. (2023). DNA barcoding, an effective tool for species identification: a review. *Mol Biol Rep.* 50 (1):761-775.
- API. (2022). BioMérieux. Available at: <https://www.biomerieux-usa.com/clinical/api>.
- Aragona, M., Haegi, A., Valente, M. T., Riccioni, L., Orzali, L., Vitale, S., Luongo, L., Infantino, A. (2022). New-generation sequencing technology in diagnosis of fungal plant pathogens: A dream comes true? *J. Fungi* 8 (7): 737-758.

- Atmar, R. L. (2014). “Immunological detection and characterization,” in viral infections of humans: Epidemiology and control. In R. A. Kaslow, L. R. Stanberry and J. W. Le Duc (eds.), Boston, MA, Springer. p:47–62.
- Ayling, M., Clark, M. D., and Leggett, R. M. (2020). New approaches for metagenome assembly with short reads. *Briefings Bioinf.* 21 (2): 584–594.
- Baldi, P., and La Porta, N. (2020). Molecular approaches for low-cost point-of-care pathogen detection in agriculture and forestry. *Front. Plant Sci.* 11: 570862.
- Barghouthi, S. A. (2011). A universal method for the identification of bacteria based on general PCR primers. *Indian J. Microbiol.* 51 (4): 430–444.
- Bari, M. L., and Kawasaki, S. (2014). Rapid methods for food hygiene inspection. In *Encyclopedia of food microbiology*, C. A. Batt and M. L. Tortorello (eds.), 2nd ed., Academic Press p: 269–279.
- Becherer, L., Borst, N., Bakheit, M., Frischmann, S., Zengerle, R., and von Stetten, F. (2020). Loop-mediated isothermal amplification (LAMP) – review and classification of methods for sequence-specific detection. *Anal. Methods* 12 (6): 717–746.
- Benítez-Páez, A., and Sanz, Y. (2017). Multi-locus and long amplicon sequencing approach to study microbial diversity at species level using the MinION™ portable nanopore sequencer. *GigaScience* 6:1-12.
- Benzigar, M. R., Bhattacharjee, R., Baharfar, M., and Liu, G. (2021). Current methods for diagnosis of human coronaviruses: Pros and cons. *Anal. Bioanal. Chem.* 413 (9): 2311–2330.
- Beye, M., Fahsi, N., Raoult, D., and Fournier, P.-E. (2017). Careful use of 16S rRNA gene sequence similarity values for the identification of mycobacterium species. *New Microbes New Infect.* 22: 24–29.
- Boonham, N., Kreuze, J., Winter, S., van der Vlugt, R., Bergervoet, J., Tomlinson, J., Mumford, R. (2014). Methods in virus diagnostics: From ELISA to next generation sequencing. *Virus Res.* 186: 20–31.
- Buja, I., Sabella, E., Monteduro, A. G., Chiriaco, M. S., De Bellis, L., Luvisi, A., Maruccio, G. (2021). Advances in plant disease detection and monitoring: from traditional assays to in-field diagnostics. *Sensors* 21 (6): 2129-2151.

- Bush, A., Compson, Z. G., Monk, W. A., Porter, T. M., Steeves, R., Emilson, E., Cardwell, K., Dennis, G., Flannery, A. R., Fletcher, J., Luster, D., Nakhla, M., Rice, A., Shiel, P., Stack, J., Walsh, C. & Levy, L. (2018). Principles of diagnostic assay validation for plant pathogens: A basic review of concepts. *Plant Health Prog.* 19 (4):272–278.
- Castro-Escarpulli, G., Alonso-Aguilar, N. M., Rivera, G., Bocanegra-Garcia, V., Guo, X., Jurez-Enrquez, S. R., Luna-Herrera, J., Martnez, C., Guadalupe, A-A. M. (2015). Identification and typing methods for the study of bacterial infections: A brief review and mycobacterial as case of study. *Arch. Clin. Microbiol.* 7 (1): 3-13.
- Chen, B., Jiang, Y., Cao, X., Liu, C., Zhang, N., and Shi, D. (2021). Droplet digital PCR as an emerging tool in detecting pathogens nucleic acids in infectious diseases. *Clinica Chimica Acta* 517: 156–161.
- Chun, S., Gopal, J., and Muthu, M. (2022). Comprehensive synopsis of the maldi tof Ms accomplishments in rapid diagnosis of microbial. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 156:116713-116738.
- Connon, S. A., and Giovannoni, S. J. (2002). High-throughput methods for culturing microorganisms in very-Low-Nutrient media yield diverse new marine isolates. *Appl. Environ. Microbiol.* 68 (8): 3878–3885.
- Craw, P., and Balachandran, W. (2012). Isothermal nucleic acid amplification technologies for point-of-care diagnostics: A critical review. *Lab. Chip* 12 (14):2469-2486.
- Doudna, J. A., and Charpentier, E. (2014). The new frontier of genome engineering with CRISPR-Cas9. *Science* 346 (6213): 1258096.
- Duan, Y., Zhou, L., Hall, D. G., Li, W., Doddapaneni, H., Lin, H., Liu, L., Vahling, C. M., Gabriel, D. W., Williams, K. P., Dickerman, A., Sun, Y., Gottwald, T. (2009). Complete genome sequence of citrus huanglongbing bacterium, ‘*Candidatus liberibacter asiaticus*’ obtained through metagenomics. *Mol. Plant-Microbe Interactions* 22 (8): 1011–1020.
- Dupas, E., Legendre, B., Olivier, V., Poliakoff, F., Manceau, C., and Cunty, A. (2019). Comparison of real-time PCR and droplet digital PCR for the detection of *Xylella fastidiosa* in plants. *J. Microbiol. Methods* 162, 86–95.

- Elnifro, E. M., Ashshi, A. M., Cooper, R. J., and Klapper, P. E. (2000). Multiplex PCR: Optimization and application in diagnostic virology. *Clin. Microbiol. Rev.* 13 (4): 559–570.
- Enicks, D. A., Bomberger, R. A., and Amiri, A. (2020). Development of a portable LAMP assay for detection of *neofabraea perennans* in commercial apple fruit. *Plant Dis.* 104 (9): 2346–2353.
- FAO. (2019). New standards to curb the global spread of plant pests and diseases. Available at: <https://www.fao.org/news/story/en/item/1187738/icode/>.
- Ferone, M., Gowen, A., Fanning, S., and Scannell, A. G. M. (2020). Microbial detection and identification methods: Bench top assays to omics approaches. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 19 (6): 3106–3129.
- Figdor, D., and Gulabivala, K. (2011). Survival against the odds: Microbiology of root canals associated with post-treatment disease. *Endodontic Topics* 18: 62–77.
- Geiss, H. K., Piotrowski, H. D., and Hingst, V. (1985). Evaluation of API 20 NE in routine diagnostics of nonfermenting gram-negative rod-shaped bacteria. *Zentralblatt Fur Bakteriologie Mikrobiologie Und Hygiene. Ser. A* 259 (1): 35–42.
- Geldhof, B., Pattyn, J., Eyland, D., Carpentier, S., and Van de Poel, B. (2021). A digital sensor to measure real-time leaf movements and detect abiotic stress in plants. *Plant Physiol.* 187 (3): 1131–1148.
- Gomez-Gutierrez, S. V., and Goodwin, S. B. (2022). Loop-mediated isothermal amplification for detection of plant pathogens in wheat (*Triticum aestivum*). *Front. Plant Sci.* 13: 857673-857689.
- Gootenberg, J. S., Abudayyeh, O. O., Kellner, M. J., Joung, J., Collins, J. J., and Zhang, F. (2018). Multiplexed and portable nucleic acid detection platform with Cas13, Cas12a, and Csm6. *Sci. (New York N.Y.)* 360 (6387): 439–444.
- Gopinath, S. C. B., Tang, T.-H., Chen, Y., Citartan, M., and Lakshmi priya, T. (2014). Bacterial detection: From microscope to smartphone. *Biosensors Bioelectron.* 60: 332–342.
- Gorris, M. T., Sanz, A., Peñalver, J., López, M. M., Colomer, M., and Marco-Noales, E. (2021). Detection and diagnosis of *Xylella fastidiosa* by specific monoclonal antibodies. *Agronomy* 11 (1):48-62.

- Graf, J., Ledala, N., Caimano, M. J., Jackson, E., Gratalo, D., Fasulo, D., Driscoll, M. D., Coleman, S., Matson, A. P. (2021). High-resolution differentiation of enteric bacteria in premature infant fecal microbiomes using a novel rRNA amplicon. *MBio* 12 (1): e03656–e03620.
- Hayden, R. T., Gu, Z., Ingersoll, J., Abdul-Ali, D., Shi, L., Pounds, S., Caliendo, A. M. (2013). Comparison of droplet digital PCR to real-time PCR for quantitative detection of cytomegalovirus. *J. Clin. Microbiol.* 51 (2): 540–546.
- Hindson, B. J., Ness, K. D., Masquelier, D. A., Belgrader, P., Heredia, N. J., Makarewicz, A. J., Bright, I. J., Lucero, M. Y., Hiddessen, A. L., Legler, T. C., Kitano, T. K., Hodel, M. R., Petersen, J. F., Wyatt, P. W., Steenblock, E. R., Shah, P. H., Bousse, L. J., Troup, C. B., Mellen, J. C., Wittmann, D. K., Erndt, N. G., Cauley, T. H., Koehler, R. T., So, A. P., S Dube, S., Rose, K. A., Montesclaros, L., Wang, S., Stumbo, D. P., Hodges, S. P., Romine, S., Milanovich, F. P., White, H. E., Regan, J. F., Karlin-Neumann, G. A., Hindson, C. M., Saxonov, S., and Colston, B. W. (2011). High-throughput droplet digital PCR system for absolute quantitation of DNA copy number. *Anal. Chem.* 83 (22): 8604–8610.
- Hoshino, T., and Inagaki, F. (2012). Molecular quantification of environmental DNA using microfluidics and digital PCR. *Syst. Appl. Microbiol.* 35 (6): 390–395.
- Huang, T., Zhang, R., and Li, J. (2022). CRISPR-cas-based techniques for pathogen detection: Retrospect, recent advances, and future perspectives. *J. Adv. Res.* 50: 55-68.
- Hugerth, L. W., and Andersson, A. F. (2017). Analysing microbial community composition through amplicon sequencing: From sampling to hypothesis testing. *Front. Microbiol.* 8: 1561-1583.
- Ieven, M., Verhoeven, J., Pattyn, S. R., and Goossens, H. (1995). Rapid and economical method for species identification of clinically significant coagulase negative staphylococci. *J. Clin. Microbiol.* 33 (5):1060–1063.
- Ivanov, A. V., Safenkova, I. V., Zherdev, A. V., and Dzantiev, B. B. (2021). The potential use of isothermal amplification assays for in-field diagnostics of plant pathogens. *Plants* 10 (11): 2424.

- Jia, B., Li, X., Liu, W., Lu, C., Lu, X., Ma, L., Li, Y-Y., Wei, C. (2019). GLAPD: Whole genome based LAMP primer design for a set of target genomes. *Front. Microbiol.* 10: 2860-2869.
- Kaminski, M. M., Abudayyeh, O. O., Gootenberg, J. S., Zhang, F., and Collins, J. J. (2021). CRISPR-based diagnostics. *Nat. Biomed. Eng.* 5 (7): 643-656.
- Karmakar, S., Das, P., Panda, D., Xie, K., Baig, M. J., and Molla, K. A. (2022). A detailed landscape of CRISPR-cas-mediated plant disease and pest management. *Plant Sci.* 323: 111376-111400.
- Katikireddy, K., and O'Sullivan, F. (2011). Immunohistochemical and immunofluorescence procedures for protein analysis. *Methods Mol. Biol.* 784: 155–167.
- Kralik, P., and Ricchi, M. (2017). A basic guide to real time PCR in microbial diagnostics: Definitions, parameters, and everything. *Front. Microbiol.* 8: 108-117.
- Kumar, A., Singh, U. S., Kumar, J., and Garg, G. K. (2008). Application of molecular and immuno-diagnostic tools for detection, surveillance and quarantine regulation of karnal bunt (*Tilletia indica*) of wheat. *Food Agric. Immunol.* 19 (4): 293–311.
- Lacey, R. F., Sullivan-Hill, B. A., Deslippe, J. R., Keyzers, R. A., and Gerth, M. L. (2021). The fatty acid methyl ester (FAME) profile of *Phytophthora agathidicida* and its potential use as diagnostic tool. *FEMS Microbiol. Lett.* 368 (17): 113-120.
- Lapidus, A. L., and Korobeynikov, A. I. (2021). Metagenomic data assembly – the way of decoding unknown microorganisms. *Front. Microbiol.* 12: 613791-613807.
- Lappe, R. R., Elmore, M. G., Lozier, Z. R., Jander, G., Miller, W. A., and Whitham, S. A. (2022). Metagenomic identification of novel viruses of maize and teosinte in North America. *BMC Genomics* 23 (1):767.
- Lau, H. Y., and Botella, J. R. (2017). Advanced DNA-based point-of-Care diagnostic methods for plant diseases detection. *Front. Plant Sci.* 8: 2016-2030.
- Law, J. W.-F., Ab Mutalib, N.-S., Chan, K.-G., and Lee, L.-H. (2015). Rapid methods for the detection of foodborne bacterial pathogens: Principles, applications, advantages and limitations. *Front. Microbiol.* 5: 1-19.

- Lee, H.-J., Cho, I.-S., Ju, H.-J., and Jeong, R.-D. (2021). Development of a reverse transcription droplet digital PCR assay for sensitive detection of peach latent mosaic viroid. *Mol. Cell. Probes* 58: 101746.
- Legrand, P. (2015). Biological assays for plant viruses and other graft-transmissible pathogens diagnoses: A review. *EPPO Bull.* 45 (2): 240–251.
- Li, R., and Hartung, J. S. (2007). Reverse transcription-polymerase chain reaction based detection of plant viruses. *Curr. Protoc. Microbiol.* 6: 16C.1.1–16C.1.9.
- Li, J., Zhu, Y., Wu, X., and Hoffmann, M. R. (2020). Rapid detection methods for bacterial pathogens in ambient waters at the point of sample collection: A brief review. *Clin. Infect. Dis.* 71 (Supplement 2): S84–S90.
- Lievens, B., and Thomma, B. P. H. J. (2005). Recent developments in pathogen detection arrays: Implications for fungal plant pathogens and use in practice. *Phytopathology* 95 (12): 1374–1380.
- Lind, A. L., and Pollard, K. S. (2021). Accurate and sensitive detection of microbial eukaryotes from whole metagenome shotgun sequencing. *Microbiome* 9 (1): 58–76.
- Liu, J., Li, C., Muhae-Ud-Din, G., Liu, T., Chen, W., Zhang, J., Gao, L. (2020). Development of the droplet digital PCR to detect the teliospores of *Tilletia controversa* Kühn in the soil with greatly enhanced sensitivity. *Front. Microbiol.* 11: 4--13.
- Loit, K., Adamson, K., Bahram, M., Puusepp, R., Anslan, S., Kiiiker, R., Drenkhan, D, Tedersoo, L. (2019). Relative performance of MinION (Oxford nanopore technologies) versus sequel (Pacific biosciences) third-generation sequencing instruments in identification of agricultural and forest fungal pathogens. *Appl. Environ. Microbiol.* 85 (21): e01368– e01319.
- López, M. M., Bertolini, E., Olmos, A., Caruso, P., Gorris, M. T., Llop, P., Penyalver, R., Cambra, M. (2003). Innovative tools for detection of plant pathogenic viruses and bacteria. *Int. Microbiol.* 6 (4): 233–243.
- López, M., Llop, P., Olmos, A., Marco-Noales, E., Cambra, M., and Bertolini, E. (2009). Are molecular tools solving the challenges posed by detection of plant pathogenic bacteria and viruses? *Curr. Issues Mol. Biol* 1:13–46.

- Lu, Y., Zhang, H., Zhao, Z., Wen, C., Wu, P., Song, S., Shuan-Cang, Y., Lai-Xin, L., Xiu-Lan, X. (2020). Application of droplet digital PCR in detection of seed-transmitted pathogen *Acidovorax citrulli*. J. Integr. Agric. 19 (2): 561–569.
- Maheshwari, Y., Selvaraj, V., Godfrey, K., Hajeri, S., and Yokomi, R. (2021). Multiplex detection of “*Candidatus liberibacter asiaticus*” and *Spiroplasma citri* by qPCR and droplet digital PCR. PloS One 16 (3): e0242392.
- Mahlein, A.-K. (2016). Plant disease detection by imaging sensors – parallels and specific demands for precision agriculture and plant phenotyping. Plant Dis. 100 (2): 241–251.
- Mancini, V., Murolo, S., and Romanazzi, G. (2016). Diagnostic methods for detecting fungal pathogens on vegetable seeds. Plant Pathol. 65 (5): 691–703.
- Mandal, P., Biswas, A., and Pal, U. K. (2011). Methods for rapid detection of foodborne pathogens: An overview. Am. J. Food Technol. 6: 87-102.
- Martinelli, F., Scalenghe, R., Davino, S., Panno, S., Scuderi, G., Ruisi, P., Paolo Villa, Stroppiana, D., Boschetti, M., Goulart, L. R., Davis, C. E., & Dandekar, A. M. (2015). Advanced methods of plant disease detection. a review. Agron. Sustain. Dev. 35 (1): 1– 25.
- McDonald, B. A., and Stukenbrock, E. H. (2016). Rapid emergence of pathogens in agro-ecosystems: Global threats to agricultural sustainability and food security. Philos. Trans. R. Soc. B: Biol. Sci. 371 (1709): 20160026.
- Mehetre, G. T., Leo, V. V., Singh, G., Sorokan, A., Maksimov, I., Yadav, M. K., Upadhyaya, K., Hashem, A., Alsaleh, A. N., Turki M. Dawoud, T. M., Almaary, K. S., and Singh, B. P. (2021). Current developments and challenges in plant viral diagnostics: A systematic review. Viruses 13 (3): 412.-443.
- Mirmajlessi, S. M., Loit, E., Mänd, M., and Mansouripour, S. M. (2015). Real-time PCR applied to study on plant pathogens: potential applications in diagnosis-a review. Plant Protect. Sci. 51(4):177-190.
- Moehling, T. J., Choi, G., Dugan, L. C., Salit, M., and Meagher, R. J. (2021). LAMP “diagnostics at the point-of-Care: Emerging trends and perspectives for the developer community. Expert Rev. Mol. Diagn. 21 (1): 43–61.
- Morcia, C., Ghizzoni, R., Delogu, C., Andreani, L., Carnevali, P., and Terzi, V. (2020). Digital PCR: What relevance to plant studies? Biology 9 (12): 433-449.

- Nair, S., and Manimekalai, R. (2021). Phytoplasma diseases of plants: Molecular diagnostics and way forward. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 37 (6): 102-122.
- Narayanasamy, P. (2011). Bacterial and Phytoplasmal Pathogens, Vol.2. In: *Microbial plant pathogens-detection and disease diagnosis*. P. Narayanasamy (ed.), Springer, Netherlands, p. 5–199.
- Nguyen, H. Q., Nguyen, V. D., Van Nguyen, H., and Seo, T. S. (2020). Quantification of colorimetric isothermal amplification on the smartphone and its open-source app for point-of-care pathogen detection. *Sci. Rep.* 10 (1): 15123-15133.
- Okubara, P. A., Schroeder, K. L., and Paulitz, T. C. (2005). Real-time polymerase chain reaction: Applications to studies on soilborne pathogens. *Can. J. Plant Pathol.* 27 (3): 300–313.
- Paul, R., Ostermann, E., and Wei, Q. (2020). Advances in point-of-care nucleic acid extraction technologies for rapid diagnosis of human and plant diseases. *Biosens Bioelectron* 169: 112592-112612.
- Piombo, E., Abdelfattah, A., Droby, S., Wisniewski, M., Spadaro, D., and Schena, L. (2021). Metagenomics approaches for the detection and surveillance of emerging and recurrent plant pathogens. *Microorganisms*, 9: 188-207.
- Posthuma-Trumpie, G. A., Korf, J., and van Amerongen, A. (2009). Lateral flow (immuno)assay: Its strengths, weaknesses, opportunities and threats. a literature survey. *Anal. Bioanal. Chem.* 393 (2): 569–582.
- Postollec, F., Falentin, H., Pavan, S., Combrisson, J., and Sohier, D. (2011). Recent advances in quantitative PCR (qPCR) applications in food microbiology. *Food Microbiol.* 28 (5): 848–861.
- Priyanka, B., Patil, R. K., and Dwarakanath, S. (2016). A review on detection methods used for foodborne pathogens. *Indian J. Med. Res.* 144 (3): 327–338.
- Quince, C., Walker, A. W., Simpson, J. T., Loman, N. J., and Segata, N. (2017). Shotgun metagenomics, from sampling to analysis. *Nat. Biotechnol.* 35 (9):833-846.
- Rajagopal, A., Yurk, D., Shin, C., Menge, K., Jacky, L., Fraser, S., Tombrello, T. A., Tsongaliset, G. J. (2019). Significant expansion of real-time PCR multiplexing with traditional chemistries using amplitude modulation. *Sci. Rep.* 9: 1053-1061.

- Rajapaksha, P., Elbourne, A., Gangadoo, S., Brown, R., Cozzolino, D., and Chapman, J. (2019). A review of methods for the detection of pathogenic microorganisms. *Anal.* 144 (2):396–411.
- Redila, C. D., Prakash, V., and Nouri, S. (2021). Metagenomics analysis of the wheat virome identifies novel plant and fungal-associated viral sequences. *Viruses* 13 (12):2457-2474.
- Reller, L. B., Weinstein, M. P., and Petti, C. A. (2007). Detection and identification of microorganisms by gene amplification and sequencing. *Clin. Infect. Dis.* 44 (8): 1108– 1114.
- Ricchi, M., Bertasio, C., Boniotti, M. B., Vicari, N., Russo, S., Tilola, M., Bellotti, M. A., Bertasi, B. (2017). Comparison among the quantification of bacterial pathogens by qPCR, dPCR, and cultural methods. *Front. Microbiol.* 8:1174-1189.
- Riley, M., Williamson, M., and Maloy, O. (2002). Plant disease diagnosis. *Plant Health Instructor*.
- Roossinck, M. J., Martin, D. P., and Roumagnac, P. (2015). Plant virüs metagenomics: Advances in virus discovery. *Phytopathol.* 105 (6): 716–727.
- Sakamoto, S., Putalun, W., Vimolmangkang, S., Phoolcharoen, W., Shoyama, Y., Tanaka, H., Morimota, S. (2018). Enzyme-linked immunosorbent assay for the quantitative/ qualitative analysis of plant secondary metabolites. *J. Natural Medicines* 72 (1): 32–42.
- Sankaran, S., Mishra, A., Ehsani, R., and Davis, C. (2010). A review of advanced techniques for detecting plant diseases. *Comput. Electron. Agric.* 72 (1): 1–13.
- Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S. J., Esker, P., McRoberts, N., and Nelson, A. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nat. Ecol. Evol.* 3 (3): 430–439.
- Schaad, N. W., Frederick, R. D., Shaw, J., Schneider, W. L., Hickson, R., Petrillo, M. D., Luster, D. G. (2003). Advances in molecular-based diagnostics in meeting crop biosecurity and phytosanitary issues. *Annu. Rev. Phytopathol.* 41 (1): 305–324.

- Schena, L., Li Destri Nicosia, M. G., Sanzani, S. M., Faedda, R., Ippolito, A., and Cacciola, S. O. (2013). Development of quantitative pcr detection methods for phytopathogenic fungi and oomycetes. *J. Plant Pathol.* 95 (1): 7–24.
- Schostag, M. D., Albers, C. N., Jacobsen, C. S., and Priemé, A. (2020). Low turnover of soil bacterial rRNA at low temperatures. *Front. Microbiol.* 11:962-967.
- Sekse, C., Holst-Jensen, A., Dobrindt, U., Johannessen, G. S., Li, W., Spilberg, B., Shi, J. (2017). High throughput sequencing for detection of foodborne pathogens. *Front. Microbiol.* 8: 2029-2058.
- Semenov, M. V. (2021). Metabarcoding and metagenomics in soil ecology research: Achievements, challenges, and prospects. *Biol. Bull. Rev.* 11 (1): 40–53.
- Sharma, S. K., Gupta, O. P., Pathaw, N., Sharma, D., Maibam, A., Sharma, P., Sanasam, J., Karkute, S. G., Kumar, S. and Bhattacharje, B. (2021). CRISPR-Cas-Led revolution in diagnosis and management of emerging plant viruses: New avenues toward food and nutritional security. *Front. Nutr.* 8: 751512-751537.
- Sharpton, T. J. (2014). An introduction to the analysis of shotgun metagenomic data. *Front. Plant Sci.* 5: 209-223.
- Shea, A., Wolcott, M., Daeﬂer, S., and Rozak, D. A. (2012). Biolog phenotype microarrays. *Methods Mol. Biol.* 881: 331–373.
- Shen, C.-H. (2019). “Amplification of nucleic acids,” In *Diagnostic molecular biology*. C.H. Shen (ed.). Chapter 9, Academic Press, p. 215–247.
- Singh, A., Jones, S., Ganapathysubramanian, B., Sarkar, S., Mueller, D., Sandhu, K., et al. (2021). Challenges and opportunities in machine-augmented plant stress phenotyping. *Trends Plant Sci.* 26 (1): 53–69.
- Smith, C. J., and Osborn, A. M. (2009). Advantages and limitations of quantitative PCR (Q-PCR)-based approaches in microbial ecology. *FEMS Microbiol. Ecol.* 67 (1): 6–20.
- Smith, P. B., Tomfohrde, K. M., Rhoden, D. L., and Balows, A. (1972). API System: A multitube micromethod for identification of enterobacteriaceae. *Appl. Microbiol.* 24 (3): 449–452.

- Tanner, F., Tonn, S., de Wit, J., Van den Ackerveken, G., Berger, B., and Plett, D. (2022). Sensor-based phenotyping of above-ground plant-pathogen interactions. *Plant Methods* 18 (1): 35-53.
- Taylor, S. C., Laperriere, G., and Germain, H. (2017). Droplet digital PCR versus qPCR for gene expression analysis with low abundant targets: From variable nonsense to publication quality data. *Sci. Rep.* 7: 2409-2417.
- Tedersoo, L., Drenkhan, R., Anslan, S., Morales-Rodriguez, C., and Cleary, M. (2019). High-throughput identification and diagnostics of pathogens and pests: Overview and practical recommendations. *Mol. Ecol. Resour.* 19 (1): 47–76.
- Tedersoo, L., Tooming-Klunderud, A., and Anslan, S. (2018). PacBio metabarcoding of fungi and other eukaryotes: Errors, biases and perspectives. *New Phytol.* 217 (3): 1370–1385.
- Tewari, D., Cieply, S., and Livengood, J. (2011). Identification of bacteria recovered from animals using the 16S ribosomal RNA gene with pyrosequencing and Sanger sequencing. *J. Vet. Diagn. Invest.* 23 (6): 1104–1108.
- Timmerman, A. D., Kalisch, J. A., Korus, K. A., Vantassel, S. M., and Orellana, I. (2014). Common signs and symptoms of unhealthy plants. *Nebraska Extension Publications* p: 1-24.
- Vasar, M., Davison, J., Neuenkamp, L., Sepp, S.-K., Young, J. P. W., Moora, M., Öpik, M. (2021). User-friendly bioinformatics pipeline gDAT (graphical downstream analysis tool) for analysing rDNA sequences. *Mol. Ecol. Resour.* 21 (4): 1380–1392.
- Wang, X.-H., Liu, T., Xu, N., Zhang, Y., and Wang, S. (2007). Enzyme-linked immunosorbent assay and colloidal gold immunoassay for ochratoxin a: Investigation of analytical conditions and sample matrix on assay performance. *Anal. Bioanal. Chem.* 389 (3): 903–911.
- Wang, X., Shang, X., and Huang, X. (2020). Next-generation pathogen diagnosis with CRISPR/Cas-based detection methods. *Emerging Microbes Infect.* 9 (1): 1682–1691.
- Ward, E., Foster, S. J., Fraaije, B. A., and McCartney, H. A. (2004). Plant pathogen diagnostics: Immunological and nucleic acid-based approaches. *Ann. Appl. Biol.* 145 (1): 1–16.

- Yang, S., Johnson, M. A., Hansen, M. A., Bush, E., Li, S., and Vinatzer, B. A. (2022). Metagenomic sequencing for detection and identification of the boxwood blight pathogen *Calonectria pseudonaviculata*. *Sci. Rep.* 12: 1399-1413.
- Yousef, L. F., Wojno, M., Dick, W. A., and Dick, R. P. (2012). Lipid profiling of the soybean pathogen *Phytophthora sojae* using fatty acid methyl esters (FAMES). *Fungal Biol.* 116 (5): 613–619.
- Zhao, X., Lin, C.-W., Wang, J., and Oh, D. H. (2014). Advances in rapid detection methods for foodborne pathogens. *J. Microbiol. Biotechnol.* 24 (3): 297–312.
- Zhao, Y., Xia, Q., Yin, Y., and Wang, Z. (2016). Comparison of droplet digital PCR and quantitative PCR assays for quantitative detection of *Xanthomonas citri* subsp. *citri*. *PloS One* 11 (7): e0159004.
- Zubler, A. V., and Yoon, J.-Y. (2020). Proximal methods for plant stress detection using optical sensors and machine learning. *Biosensors* 10 (12): 193-220.

BÖLÜM 2

YAPAY ZEKÂNIN BİTKİ KORUMADA KULLANIMI

Prof. Dr. İnanç ÖZGEN¹
Tuba ASLAN KÜÇÜKÖZER²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13767834>

¹Elazığ Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, Elazığ, Türkiye, inancozgen@gmail.com, Orcid ID: 0000-0003-1742-9324

²Elazığ Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye, aslantuba3@gmail.com, Orcid ID: 0000-0003-4996-8453

GİRİŞ

Teknoloji, milyonlarca yıllar önce ilk insanlık ile başlamış ve günümüz modern insanına kadar gelişerek varlığını sürdürmüş bir süreçten geçmiştir. İlk insanlardan bu yana, zor olan yaşamı kolaylaştırmak için âletler yaparak teknik materyaller üretmeye başlanmıştır. Modern insan, bu bilgileri daha da geliştirmiş ve çevresindeki malzemelerle bilişim, ulaşım, iletişim, sağlık, tarım, spor, alışveriş ve güvenlik gibi birçok alanda hayatı kolaylaştıran teknolojik ürünler yaratmış ve yaratmaya devam etmektedir. Yapay zekâ bitki sağlığı, ekosistem yönetimi ve uygulamalı bilimlerinde önemli uygulama alanlarına sahiptir. Sürekli kullanılan bilgisayar teknolojilerinden farklı olarak yapay zekâ, bilgisayarların bilgiyi işleme fonksiyonlarına yeni işlevsel özellikler katmaktadır. Yapay zekâ uygulamaları sayesinde bilgisayarların ve kontrol birimlerinin insana ait fiziksel eylemleri gerçekleştirmesi, veri hesaplamaları ve analizleri yapabilmesini mümkün hale getirmektedir.

Yapay zekâ'nın anlamına bakılacak olursa; bu özelliklere sahip makineleşmiş ve ruhsal bir evrimi olmayan sistemlerdeki zekânın tanımıdır. Kaba olarak; bir bilgisayarın ya da bilgisayar gözetimli bir makinenin, genellikle insana ait özellikler olduğu bilinen akıl yürütme, verileri anlamlandırma ve bu verilerden mantıksal ölçülerde çıkarım saplama, genelleme ve eski ve farklı deneyimleri yorumlayarak onlardan yeni veriler ortaya çıkararak öğrenme gibi yüksek zihinsel süreçlerin de içinde bulunduğu görevleri yapabilme yeteneği olarak bilinmektedir (Nabiyev, 2003). Yapay zeka temelli robotik sistemlerin yaygınlaşması ile tarımda teknolojik kazanımlar çok daha fazla kullanılabilir olmuştur. Şöyle ki; tarım sektöründe kullanılan robotlar, açık alan robotları veya kapalı alan robotları olarak sınıflandırılmaktadır. Gıda sektöründe yaygın olarak kullanılan kapalı alan robotlarına kıyasla, açık alan robotları tarımın en yeni teknolojilerini kullanılmaktadır. Ayrıca bu robotlar navigasyon, kamera ve sensör içermektedir. Robotlar, genellikle

meyve ve sebze hasadı için kullanılan ve hasadı otomatik olarak işleme özelliğine sahiptirler. Üstelik hasat robotlarına ek olarak açık alan robotları, budama, sulama, ekim-dikim, ilaçlama, mera ve silaj robotları da içermektedir (Şekil1).



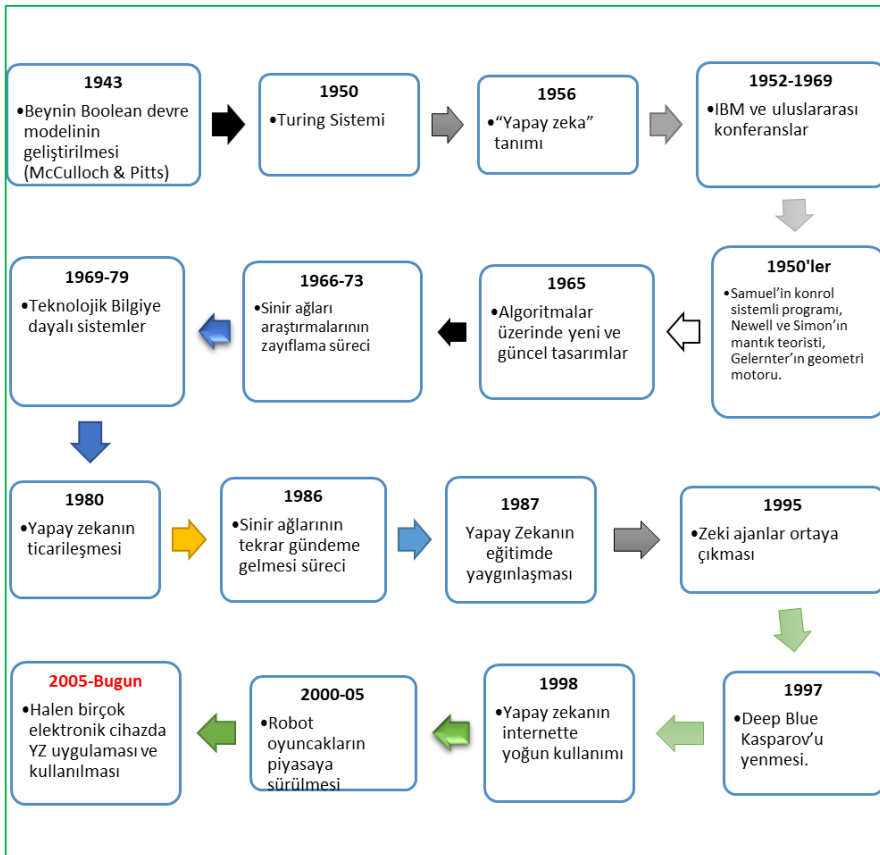
Şekil 1. Sebze hasadında kullanılan uygulamalar (Anonim, 2017)

Yatırımlar, ilk olarak zorunluluğa dayanarak yapıldığında, yeni teknolojilerin gelişmesiyle birlikte artık tarım sektöründe hayati önem taşımaktadır. Kalite ve verim odaklı üretimin desteklenmesi, zamandan ve işgücünden tasarruf, risk hesaplama yeteneği ve yeni iş alanları yaratarak bu teknoloji devrimini desteklemektedir. Bu robotlar şu anda sadece birkaç ülkede kullanılıyor, ancak gelecekte daha düşük fiyatlarla piyasaya sürülmeleri mümkündür. Ancak çok yeni olmaları ve yüksek maliyetleri nedeniyle büyük çiftlik sahipleri ve üreticiler tarafından tercih edilebilmektedir. Anonim'e (2020) göre, gelecekte yaygınlaşıp yayılmaya devam edip etmeyeceğini zaman gösterecektir.

1. Yapay Zekâ'nın Tarihçesi

Doğadan esinlenilerek geliştirilmiş çoğu yenilikler gibi, yapay zekâ teknolojisi de ekosistemi ve komunitiyi inceleyerek geliştirilmiştir. Aristoteles (M.Ö. 385-323); Politika adlı eserinde kölelerin yapacağı işlerin mekanik teçhizatlar ile ikame edilebileceğini savunmuştur (Tuncay, 1975). El- Cezeri (1153-1233), Orta Çağ'da mühendislik

alanında çalışıp, geliştirdiği materyaller ile çağının ihtiyaçların çözüm bulan robot benzeri bir sistemi hayata geçirmiştir (Külcü, 2015). Leonardo da Vinci'nin (1452–1519), çok az bilinen tasarımlarından birisi ise insansı bir robottur (Michael ve Moran, 2006). George Boole (1815-1864), mantığı 0 ve 1 olarak almış ve üç temel işlemden oluşan basit bir cebire indirgeyerek çalışmıştır. Claude E. Shannon (1916–2001) teknolojik dönüşümün temellerini kurmuştur (Stankovic ve Astola, 2011). Şekil 2'de yapay zekânın günümüze kadar olan zaman serisi geçişi görülmektedir.



Şekil 2: Yapay Zekânın Gelişim Süreci

Yapay Zekâ alanında kullanılacak olan ilk çalışma örnekler, Walter Pitts ve Warren McCulloch tarafından 1943 yılında yapılmıştır.

Öneri mantığı ile yeni modellemelerin yapay zekaya adaptasyonu ve basit hesaplamalarda kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu modeller yapay zekâ teknolojisinin fikir babası Alan Turing'in hesaplama kuramına dayanıyordu. Mind adlı felsefe dergisinde Alan Turing, “Makineler düşünebilir mi?” sorusuyla yapay zekâları bilim dünyasının ve insanların tartışmasına sundu. Bu şekilde yapay zeka teknolojisi fikrîsel olarak doğmuş oldu. (Richard, 2013). Yapay zekânın en önemli alt segmenti olan yapay sinir ağları, tahmin modelleri geliştirmek için oluşturulmuş istatistiksel bir yaklaşım olarak ön plana çıkmıştır. Yapay sinir ağları, insan beynindeki tasarıma benzer işlem cihazlarından ve veri işlemlerinden oluşmaktadır. 1969 yılında Perceptron adı verilen kitaplarda belirli uzmanlık alanlarındaki programlar Minsky ve Papert tarafından yayınlanan yapay zekânın yeniden doğuşuyla sonuçlandı. Profesyonel sistemler 1980'lerde geliştirilerek mühendislikten iş dünyasına kadar geniş bir alanda kullanılmaya başlanmıştır (Akın 1997). Küresel ekonominin dinamik yapıları, gelişen bilgi teknolojileri, karmaşıklık, karar verme mekanizmalarındaki verilerin ve bunların birbirleriyle olan ilişkilerinin çok daha iyi anlaşılması için yeni tekniklere ihtiyaç vardır. Problem çözümede geleneksel karar alma süreçlerinden daha etkilidir. Bu ihtiyacı karşılamak için paralel olarak insan beynini taklit eden, belirsizlikleri ortadan kaldıran ve verimliliği en üst düzeye çıkaran işleme mekanizmaları kademeli olarak geliştirilmiştir. İnsan gücü ve bilgiyi kullanarak küresel pazardaki risk ve fırsatların analiz edilmesi konularında karar verme anlamında yapay zeka tarihsel süreçte daha önemli bir rol alacaktır. Bu da her alanda olduğu gibi tarımda ve bitki koruma da yeni ve önemli yaklaşım fırsatlarını beraberinde getirecektir.

2. İnsan Bilimleri Alanında Yapay Zekâ Uygulamaları

Pratikte yapay zekânın sadece robotlar ve makinelerin kullanımını etkilediği sanılmaktadır. Aksine, birey ile toplum hareketlerinin veriye dönüştürebilen sosyal ağların geniş perspektifte olarak kullanılmasıyla

insanların sosyal varlık olarak daha ileriye gitme anlamında öncelikleri değişmiştir. Bu nedenle, beşeri bilimler başta olmak üzere insan temelli bilimlerde yapay zekâ farkındalığı ve teknolojik kazanımları çoğalmıştır (Xu and Yang, 2012).

Eğitimde kullanılan öğelerin elektronik ortama taşınması, bilgiye erişimi önemli ölçüde kolaylaştırmıştır. Ayrıca bu değişim eğitimde fırsat eşitliğine de büyük ölçüde katkıda bulunmuştur. Bu, öğrenciler için anlaşılması zor olan soyut kavramların görselleştirilmesi ve tüm ders konularının çeşitli eğitim platformlarında gösterilmesiyle sağlanmıştır. Millî Eğitim Bakanlığı'na bağlı okullarda ki bazı eğitim ağırları sayesinde aynı ders materyallerine erişebilir konuma gelmiştir. Dünya genelinde de gelişmiş eğitim sistemlerinde bu ağırlar etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Bu veriler, öğrencilerin eksik olduğu konuları belirlemek için karar verici içerik yönetim sistemleri ve uzman sistemleri oluşturmaya yardımcı olmuştur. Yapay zekâ, eğitimdeki bu değişikliği geliştirmek ve öğretmenler ve öğrenciler arasındaki öğrenme sürecine katkıda bulunmak için çaba sarf etmektedir. Küresel salgın dönemine kadar uzaktan eğitimde fırsatlar, açık öğretim modelleri dışında çok iyi değerlendirilmemiştir (Altınsoy, 2019).

Bu durumda, ülkelerin tutumları, teknolojinin gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte, teknolojinin mevcut durumu, politikaların oluşturulmasında da en önemli faktördür. Yalçınkaya'ya (2019) göre, yatırımların, siyasetin, dış ilişkilerde verilecek kararların ve ülke önceliklerinin belirlenmesinde teknolojinin durumu çok önemlidir. Türkiye'de de terörle mücadele sürecinde yapay zeka teknolojisi temelli insansız hava araçları geliştirilmiş, terörle mücadele ile kardeş ülkelerin (Azerbaycan) savunma stratejilerinde politik kazanımlar elde edilmiştir.

3. Yaşam Bilimlerinde Yapay Zekâ Uygulamaları

Ekosistem içerisinde tüm bileşenler sürekli bir dönüşüm döngüsündedir. Bu değişikliğe teoriler veya bütünleştirici halkalar dâhil olabilir. Maddenin en küçük yapı taşı olan atomu oluşturan parçacıkların özellikleri yapay zekâ temelli çalışmalarda daha kolay belirlenmektedir. Doğa bilimlerindeki bu değişimlere ayak uydurabilmesini sağlayan öğrenme yeteneği, yapay zekâyı başarılı kılan temel bileşendir. Doğa bilimlerinin tüm birimlerinde ki yapay zekâ çalışmalarıyla karşılaşmak günlük hayatta da giderek daha önemli hale gelmektedir. Akıllı telefonlarda yüz tanıma özelliği en popüleridir. Yapay zekâ algoritmaları, telefonun kamerasından elde edilen görüntü verileri kullanarak kullanıcıyı belirlemek mümkündür (Derawi, 2012; Chaudhry and Chandra, 2017). Aynı teknoloji, farklı veri setleri ile birleştirildiğinde belirli bir alanda fayda sağlayan bir araç haline gelebilmektedir. Örnek verilecek olursa, Golgiyaz ve ark. (2019), fındık kömürü yakıtlı bir sobada gazı sıcaklığını tahmin etmek için bir model geliştirmiştir. Bu model yaklaşık %97 doğrulukla tahmin edilmiştir. Görüntü işleme, sağlık alanında birçok hastalığın teşhisi ve tedavi sürecini hızlandırabilir. Öğretilmiş durumlar için belirti tabloları, tıbbi görüntüleme cihazlarından alınan görüntü verileri kullanılarak belirlenebilir. Birçok kanser tanısı yapay zekâ algoritmaları kullanarak %87,5 doğrulukla yapılabilmektedir (Taşdemir 2018).

Bununla birlikte, yapay zekâ teknolojisini kullanan tarım makineleri de mevcuttur. Firmalar çekilebilir tip ekipman üreterek görüntüleme ve ilaçlama işlemlerini aynı anda gerçekleştirebilmektedir. Hareket halindeyken yabancı otlara herbisit ve bazı kültür bitkilerinde ki hastalık ve zararlılara karşı pestisit uygulanabilir (Şekil 3). Bu nedenle, sadece hedef organizmayı ilaçlayan, gereksiz uygulamalar olmadan daha çevre dostu yaklaşımlar kullanılmaktadır.



Şekil 3. Hareket halindeyken tespit edilmiş yabancı ot ve kültür bitkileri (BlueRiver, 2019)

Sera gazı emisonları, küresel ısınmanın bir sonucu olarak artmaktadır. Çevre üzerindeki olumsuz etkilerin giderilmesi ve çevreyi korumak için alınması gereken önlemleri belirlemek için doğru tahminler yapmak çok önemlidir. Papuçcu ve Bayramoğlu (2016), Türkiye'nin son 50 yıllık zaman periyodu için CO2 salınımını tahmin etme de yapay sinir ağlarını kullanmışlardır.

Yaptıkları tahminlere göre, Ülkemizin iklim zirvesindeki salınım sözünün üzerine çıkılabileceği varsayılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasının, karbondioksit salınımını azaltmak için iyi bir alternatif olduğu açıktır. Bununla birlikte, her yatırımda olduğu gibi fizibilite çalışmaları da önem arz etmektedir.

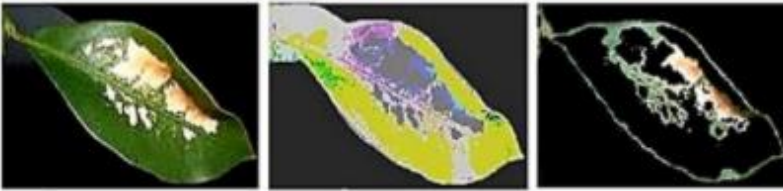
4. Bitki Hastalıklarının Tespiti

Tarımın sürdürülebilir gelişimi açısından bitki hastalıklarının doğru tanımlanması oldukça önemlidir. Hastalıklar; ürünün verimini ve kalitesini etkilediğinden, bitki hastalıklarının yönetimi öncelikli bir bitki koruma hedefidir. İlave olarak; ürünlerdeki hastalıklar; bir çiftçi için önemli ve üzerinde durulması gereken, çok çabuk önlem alması gereken tarımsal girdi süreçlerinde önemli bir konudur. Bitki hastalıklarının tespit

etmek ve çözüm üretmek için gerekli adımları atmak önemli uzmanlık ve deneyim gereklidir. Çünkü ekolojik faktörler bitki hastalıklarının yayılmasında öncelikli faktörler içerisindedir. Bilgisayar destekli sistemler, hastalıkları teşhis etmek ve mücadelesi için veri setlerini kullanmak son yıllarda çok daha fazla önem taşımıştır. Çünkü doğruluk ve karar almada çiftçilere oldukça önemli avantajlar sunmaktadır.

Bu nedenle, bitki hastalıklarının teşhisi için görüntü işleme ve yapay zekâ algoritmaları kullanılmaktadır. Bu konuda yapılan bazı önemli çalışmalara değinecek olursak;

Alruwaili ve ark. (2019), zeytin yaprağı hastalıklarını derin öğrenme teknikleri kullanılarak sınıflandırmıştır. Araştırmaları sonucunda bu sınıflandırmada, %99,11 genel doğruluk oranı bulduklarını belirtmektedirler. Singh ve Misra (2017), genetik algoritma kullanarak bitki yaprak hastalıklarının otomatik tespiti ve sınıflandırılması için çok önemli bir özellik olan görüntü segmentasyonunu kullanmışlardır. Bu, bitki hastalıklarının erken veya başlangıç safhasında tanımlanabilmesi için kullanılmıştır. Araştırmacılar, sınıflandırma sürecinde başarı yüzdesini artırmak için hibrit algoritmalar, Bayes sınıflandırıcı, Yapay Sinir Ağı ve Bulanık Mantık gibi algoritmaların kullanılabilceğini önermektedirler. Bu segmentasyona bir örnek, Şekil 4'de görüldüğü üzere limon yaprağının renk özelliklerine göre segmentasyonunu verilmektedir:



Şekil 4. Limon yaprağı renk değişim segmentasyonu (Singh and Misra, 2017).

Robindro ve Sarma (2013) ise, bitki hastalıklarının teşhis edilmesi için JESS (Java uzman sistem kabuğu) tabanlı uzman sistem mimarisinin tasarlamışlardır.

Bitkide görülen belirtiler, uzman sistem tarafından hastalıkların teşhis edilmesi yanında, hastalıkların bitkide oluşturabilecek olumsuz etkilere göre alınacak önlemler konusunda da tavsiyelerde bulunmaktadır. Üreticiler uzman önerilerinden bu yapay zeka teknolojileri tarafından faydalanmaktadır. Şekil 5; uzman sistemin tasarımını göstermektedir.



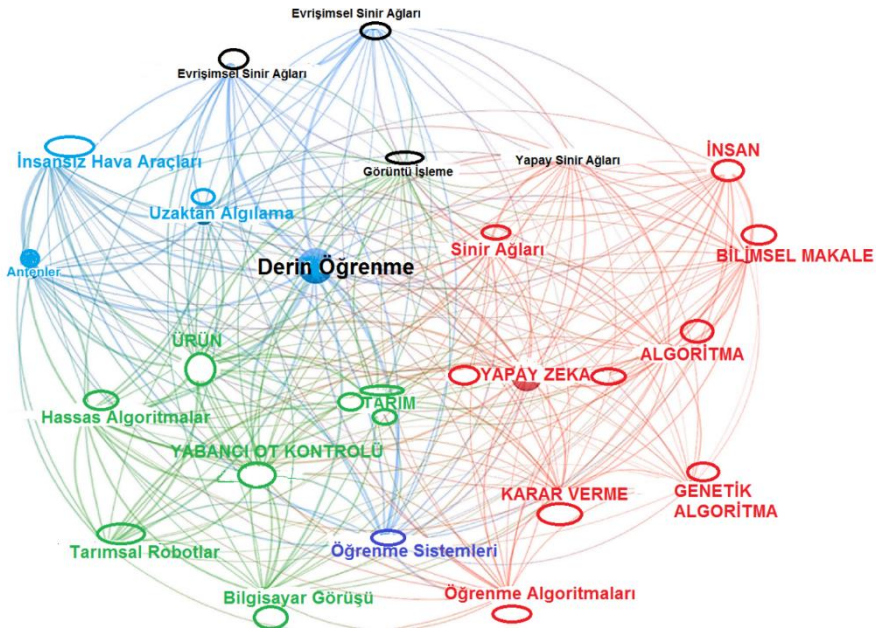
Şekil 5. Sistem Şeması (Robindro and Sarma, 2013).

Tilva ve arkadaşları, özellikle fungal hastalıkların çıkışını tespit etmek için çok önemli olan yaprak ıslaklık süresine dayalı olarak hastalıkları tahmin etmek için bulanık mantık tabanlı bir model önermişlerdir (Tilva vd., 2013). Birçok araştırma da farklı kültür bitkilerinde hastalık kontrolü için farklı yapay sinir ağı tabanlı model tasarlanmıştır. Huang; bu konuda bir görüntü işleme modeli önermiştir. Orkidelerde ki fide hastalıklarını sınıflandırmak için yapay sinir ağı modeli ile görüntü işleme modeli kullanmıştır (Huang, 2007). Sannakki ve arkadaşları ise yaprakta tespit edilen hastalık enfeksiyon yüzde değerinin belirlenmesinde görüntü işlemeyle birlikte bulanık bir mantık yaklaşımı uygulamışlardır (Sanakki, 2011). Mohanty ve arkadaşları (2016) 25 farklı hastalığı etkileyen 54.306 hastalık fotoğrafından bir veri kümesini kategorize etmek için AlexNet ve GoogleNet modellerini kullanmışlardır (Mohanty et al., 2016). Bai ve arkadaşları (2022) hıyarlarda fungal hastalıkların tespitinde çok ölçekli bir füzyon

konvolüsyonel sinir ağına dayalı yaprak hastalığı segmentasyon tekniği kullanarak, hastalık teşhisinde önemli kazanımlar elde etmişlerdir (Bai et al., 2022). Too ve arkadaşları (2019); DenseNet modelini kullanarak; bir çiftlikte yetiştirilen 14 bitki türünde 38 farklı hastalık kategorisini teşhis etmişler ve %99,75 oranında doğruluk oranı elde etmişlerdir (Too et al., 2019). Bu ve benzeri örnekler arttırılabilir. Kısacası yapay zekâ, bitki hastalıklarının çabuk ve güvenilir tespiti için oldukça önemli, görüntü işleme ve algoritma yöntemleri de kullanılabilir yöntemler içerisinde değerlidir.

5. Yabancı Otların Tespiti ve Yönetimi

Yabancı otlar ürünlerin büyümesini ve gelişmesini engellediği gibi, mahsul olgunluğunu engellemekte ve hasat süreçlerini zorlaştırmaktadır (Yu et al; 2019). Üstelik yabancı otların varlığı, mekanik ve kimyasal uygulamaların etkinliğini engelleyebilmektedir. Bu durum artan iş gücü, çiftçi uygulamaları ve girdi ihtiyacını arttırmaktadır (Molinari ve ark., 2020). Yapay zeka ve yenilikçi teknolojilerle desteklenen etkili yabancı ot yönetimi stratejileri, bu zararlı etkilerin azaltılması ve tarımın güvenilirliğinin ve kalkınmasının sağlanması için vazgeçilmez unsurlardan biridir. Yapay zekanın kullanımı yabancı ot yönetiminde teknoloji, ekolojik sorunları ele almak için pestisitlerin etkinliğini artırarak herbisitlerle ilişkili sonuçları ortadan kaldırır, kullanılan kimyasalların miktarının azaltılması ve kalıntıların varlığını düşürmektedir (Hakme et al., 2020). Yapılan literatür araştırmasında Yabancı ot yönetimi ve yapay zeka çalışmaları ilişkilendirilmiştir. Bu amaçla; Scopus ve Web of Science (WoS) veritabanlarından yararlanarak “yabani ot yönetimi” ve ‘yapay zeka’ terimleri incelendiğinde 5713’ü Scopus’tan ve 108’i WoS’tan olmak üzere toplam 5821 sonuç için VOSViewer yazılımına bakılmış ve bu konu ile ilişkili kelimeler ağ içinde verilmiştir (Waltman and Ecken, 2010; Vasileiou et al., 2024) (Şekil 6).



Şekil 6. Yapay Zekâ ve Yabancı Ot Yönetimi İle İlgili Anahtar Kelimeler

Yabancı ot yönetimi ve yabancı ot yönetimi ile ilişkili ilgili son yıllarda yapılan bazı çalışmalara değinilecek olursak;

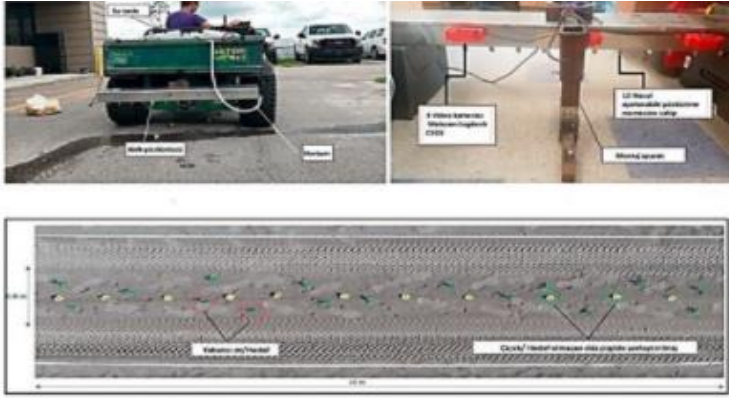
Sabzi ve Abbaspour-Gilandeh (2018), patates bitkisinde sorun olan üç genel yabancı ot türünü (*Chenopodium album*, *Secale cereale* L ve *Polygonum aviculare* L) yeni bir makine görüntü işleme sistemi kullanarak tespit etmiş ve tür tanımlaması yapmıştır. Her çerçevedeki yeşil bitkileri belirlemek için bir video işleme alt sistemi ve makine öğrenmesi alt sistemi kullanılmıştır. Ayrıca, patates bitkilerini yabancı otlarla sınıflandırmak için bir makine öğrenmesi alt sistemi kullanılmıştır. Sistem, parçacık sürüsü optimizasyon algoritmalarından ve yapay sinir ağlarından oluşan bir hibrid sınıflandırma yaklaşımı kullanmaktadır. Bu yöntemin sayı katmanlarını, her katmandaki nöronları, ağ işlevlerini, ağırlıklandırmayı ve eğimleri optimize edebildiğini vurgulayan bir kanıt vardır. Görüntü, beyaz LED lambalar kullanılarak ayarlanmış aydınlatma koşullarında kaydedilmiştir.

Çekim yapıldıktan sonra bitkiler sınıflandırıldı, her birinin 30 renk, doku ve şekil özellikleri ayrılan patates bitkisi ve yabancı otlar arasındaki en önemli 6 özelliği belirlemek için bir karar ağacı kullanılmıştır. Bir sonraki aşamada bir Bayes sınıflandırıcı kullanılarak girişler patates bitkisi veya yabancı otlar olarak sınıflandırılmış ve ANN-PSO eğitim seti %99,0 ve Bayes test seti %71,7 doğruluğa ulaştı ve test grubu %98,1 ve 73,3 doğruluğa ulaşmıştır. Şekil 7, kurulan görüntü elde etme sisteminin iki farklı modunu göstermektedir. Bununla birlikte, Şekil 6 görüntülerin iki farklı segmentasyon tipinin sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 7. İki Farklı Görüntü Elde Etme Sistemi (Sabzi and Abbaspour-Gilandeh, 2018).

Partel ve ark. (2019), makine görüşü ve yapay zekâ kullanılarak akıllı bir pülverizatör tasarlamak ve istenen hedefe tam olarak püskürtmek için hedef otları yetiştiriciliği yapılan bitkilerden ve yabancı otlardan ayırt etmek için araştırmalar sonucunda tasarımlar bazı yapmışlardır. İlaçlama aleti hedefi bulmak için derin öğrenmeyi ve püskürtme için on iki ayrı kısa tepki nozulüne sahip bir yapay zekâ temelli yazılımları kullanan sistemler içermektedir. Şekil 8, aletin nozul parçasını sistemin hedef olan/ olmayan arasında farkındalık oluşturmak için kullanmışlardır.



Şekil 8. Alet/Hedef/Haritalandırma (Partel vd., 2019).

Araştırmacılar data setlerinin yorumlanması ve yabancı ot tanımlamaları ile ilgili olarak bazı teknolojiler kullanmışlardır. Örneğin bu amaçla; Amarangisam et al.; 2023, Micasense Altum multispectral kamera; Rahman et al.; 2023, 4442x4335 piksel kamera, Nasiri et al. 2022; Foto Clip, 2164, Cai et al; 2023; DJI mavic 12 megapixels kamera kullanmışlardır. Yabancı ot tanımlamalarında da; YOLOv3, YOLOv5, Darknet 53, ResNet, DenseNet, Mask R-CNN, EfficientNET gibi modeller kullanılmıştır (Valente et al., 2022; Kong et al, 2023; Jiang et 2023; Qaun et al., 2022; 2023).

Yabancı ot yönetimi bağlamında, yapay zeka da dâhil olmak üzere dijital teknolojilerde etkin bir şekilde kullanmak, anlamak ve çiftçiler ve tarım profesyonelleri için gerekli olan alt yapıyı yapay zeka güdümlü olarak yabancı ot yönetimine uyum sağlayacak şekilde geliştirmek önem taşımaktadır. Bu bağlamda, yapay zeka algoritmalarını anlama, veri toplama süreçleri ve model çıktıları bilinçli kararlar vermek ve yabancı ot kontrol stratejilerini optimize etmek en önemli önceliklerden olacaktır.

6. Zararlılarla İlgili Yapılan Bazı Çalışmalar

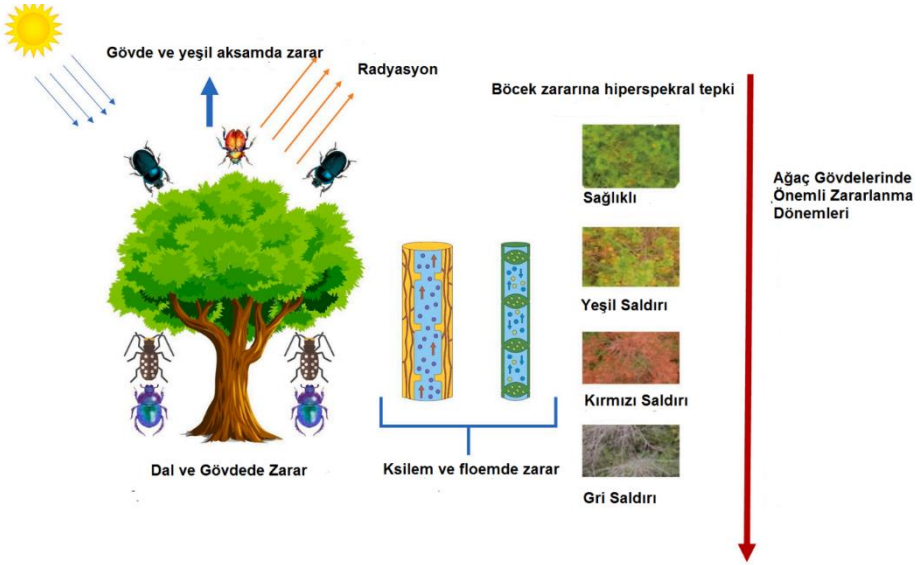
Tarımda büyük ekonomik kayıplara neden olan en endişe verici sorunlardan biri böcek zararlı istilasıdır. Araştırmacılar, aktif zararlıları

tanımlayabilecek ve kontrol yöntemlerini önerebilecek bilgisayarlı sistemler oluşturarak bu tehlikeyi azaltmaya çalışıyorlar. Kural temelli uzman sistemi belirsizliğe neden olabilir çünkü tarımsal yönetimle ilgili bilgi sıklıkla kusurlu, belirsiz ve belirsizdir. Bu belirsizliği çözmek için Saini ve diğerleri bir dizi Bulanık mantık tabanlı uzman sistemi önermiştir (Saini ve diğerleri, 2002).

Çayda zararlı yönetimi için uzman bir sistem olan TEAPEST'in geliştirilmesinde Ghosh ve arkadaşları tarafından bir kural temeli çerçevelemek için nesnel yönelimli bir yaklaşım benimsenmiştir. (Ghosh and Samanta, 2012). Burada da, aşama aşama tanımlama ve danışma süreci benimsenmiştir. Daha sonra bu sistem Samanta ve Ghosh tarafından çok katmanlı bir geri yayılım sinir ağı (Ghosh and Samanta, 2012) kullanılarak yeniden tasarlanmıştır ve daha sonra daha yüksek sınıflandırma oranları elde etmek için radyal temel fonksiyon modeli kullanılarak Banarjee ve diğerleri tarafından yeniden formüle edilmiştir. (Banarjee vd., 2017). Ayrıca faydalı böcek salımlarında da yapay zeka uygulamaları Türkiye'de dahil birçok ülkede yapılmaktadır. Özgen ve Altay, 2021; *Tribolium confusum* mücadelesinde organik kökenli sirkelerin etkinliklerinin belirlenmesinde ve özellikle bu bileşiklerin LD 50 düzeylerinin belirlenmesinde yapay sinir ağları modellerini kullanmışlar ve EPUNN algoritmasının en etkin yöntem olduğunu bildirmişlerdir. Özgen ve ark (2024); *Agonescena pistaciae* (Homoptera: Psyllidae) zararlısına karşı, *Oenopia conglobata* (Coleoptera: Coccinellidae)'nın farklı salım parametrelerinde ki etkinliklerinin belirlenmesinde ki ekolojik parametrelerin kullanılmasında farklı regresyon yöntemi ile makine öğrenme yöntemi kullanarak, klasik biyolojik mücadele yaklaşımlarında RFR metodunun habitat ve salım sayısı farklılıklarının ilişkilendirilmesinde önemli bir model olduğunu öne sürmüşlerdir.

Buğday alanlarında bulunan Coccinellidae türlerinin belirlenmesi yaprak biti yönetiminde yoğun pestisit kullanımını azaltmak amacıyla

makine öğrenme yöntemlerinden yararlanma çalışmaları hız kazanmış ve bilgisayar görsel ve otomasyon modelleri oluşturulmuştur (Grijalva et al., 2024). Mahanta et al. 2024; orman alanlarında zararlı olan bazı böcek türlerinin zarar durumlarını uzaktan algılamak amacıyla çeşitli uzaktan algılama cihazları, platformları ve algılama algoritmaları kullanarak, ağaç gövdelerinde zararlanma dönemlerini karşılaştırıp mücadeleye esas hiperspektral değişim tablosu verilerini kullanmışlardır (Şekil 9).



Şekil 9. Uzaktan Algılama Sinyalleri İle Böcek istilalarına karşı önemli hiperspektral tepkilerin ölçümü (yeşil, kırmızı ve gri saldırı) (Mahanta et al., 2024).

Bacterocera oleae (Zeytin sineği) mücadelesinde derin öğrenme tabanlı çalışmalar hız kazanmış, buna göre otomatik tespit ve sayımı makine öğrenimi tabanlı, derin öğrenme tabanlı, görüntü işleme tabanlı, optoakustik spektrum tabanlı ve hiperspektral spektroskopi tabanlı şemalar zararı kategorize etmek için kullanılmıştır (Mamdouh et al., 2022).

İlaveten, virus vektörü sivrisineklerin sınıflandırılmasında kanat geometrik morfolojik özelliklerin ayırımında, yapay zeka tekniği

kullanılmış ve hızlı ve çabuk teşhis yöntemleri geliştirilmiştir. Bu amaca yönelik, optik sensörler ve Evrimsel Sinir Ağları (CNN'ler) kullanarak sivrisinekler tanımlanmış ve ortalama doğruluk oranları %84 ile %93 arasında değişmiştir (De Lima et al., 2024). Makine öğrenme teknikleri ile kelebeklerin sınıflandırılması da son yıllarda entomologların önemle üzerinde durduğu konular içerisinde olmuştur (Yasmin et al., 2023). Özellikle farklı algoritmalar kullanarak kelebek türleri sınıflandırılmakta, zoocoğrafik yayılışları, göç yolları belirlenmekte, zararlı türlerin zarar durumları ve olası dağılışları belirlenmektedir. Bu çalışmalar ve buna benzer çalışmalar hem zararlılarla mücadele de önceden tahmin ve uyarı, zarar tespitleri ve böcek taksonomisi çalışmalarında önemli kolaylıklar sağlayacaktır.

10. SONUÇ

Sonuç olarak, hassas tarım girdileri yapay zeka sayesinde en aza indirilirken, çiftçilerin verimlerini artırmalarına olanak sağlayarak tarım sektörünü önemli ölçüde katkı sunmuştur. Görüntü sensörlerinin, yapay görme sistemlerinin ve drone'ların tarıma entegrasyonu, tarımsal üretimde devrim yaratmıştır. Gerçek zamanlı verileri toplama ve işleme yöntemleri içerisinde, görüntü işleme ve yapay zeka, akıllı davranışları otomatikleştirmişe tarım da dahil olmak üzere birçok uygulamada faydalı olmuştur. Temel olarak, tarımsal ürünlerin tanımlanması ve hasat edilmesine yönelik sistemler yapay zekâ algoritmalarıdır.

Gelecekteki otomatik hastalık ve zararlı teşhis sistemleri, erken tahmin ve uyarı ile hastalık tespiti ve sınıflandırmasına odaklanarak, farklı hastalık gelişimi ve zararlı saldırılarında zararlı ve hastalıkları tespit etmek için yapay zeka destekli teknikler geliştirmeye odaklanmalıdır. Fitopatoloji açısından mevcut çalışmaların çoğu, hastalığın ilerlemesini dikkate almadan bitki hastalıklarının geç semptomlarını belirlemeye odaklanmıştır. Ancak, hastalığın şiddeti hakkındaki bilgiler, bir hastalığın erken kontrolü için çok önemlidir. Hastalık şiddeti tahmini için otomatik yöntemler geliştirmek için çaba

gösterilmelidir. Son olarak, bir mahsulü aynı anda etkileyebilecek birden fazla faktörü (örneğin, hastalık veya bozukluklar) tespit etmek için tekniklere ihtiyaç vardır. Bitkiler zaman zaman aynı anda birden fazla enfeksiyon gösterebilir. Mevcut tekniklerin çoğu yalnızca bir hastalık veya bozukluğu tespit edebilir

Zararlılarla mücadelede ise, alandaki faydalı ve zararlı böceklerin tespiti, algoritmalar yoluyla popülasyon dinamiklerinin ortaya konularak etkin ve zamanında mücadele için yapay zeka tekniklerinin kullanımı yaygınlaştırılmalıdır.

Bu çalışmaların zararlı tahminlilerinde, fenolojik ön görülerde, hastalık zararlı ve yabancı ot tespitlerinde kullanılarak etkin mücadele stratejisi geliştirmek için gelecek bitki koruma çalışmaları perspektiflerinde hem IPM (Entegre mücadele) ve hem de sürdürülebilir bitki koruma yönetiminde önemli katkılar sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Akın L. (1997). Yapay Zekada Vücut ve Beyin Problemi, Bilgisayar ve Beyin, Nar Yayınları, <http://www.cmp.e.boun.edu.tr>, Selva Staub et al. / Procedia - Social and Behavioral Sciences 195 (2015) 1477 – 1485 1485 Access Date: (30.03.2014).
- Altınsoy, F. (2019). Uzaktan Eğitim Öğrencilerinin Başarılarının Yapay Zeka Teknikleri İle Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Amarasingam, N., Hamilton, M., Kelly, J.E., Zheng, L., Sandino, J., Gonzalez, F., Dehaan, R.L., Cherry, H. (2023). Autonomous detection of mouse-ear hawkweed using drones, multispectral imagery and supervised machine learning. Remote Sens (Basel) 15, 1633. <https://doi.org/10.3390/rs15061633>.
- Anonim, (2017). Yapay Sinir Ağları. <https://www.ardamavi.com/2017/07/sinir-aglari.html> (Erişim Tarihi:16.12.2020).
- Alruwaili, M., Alanazi, S., El-Ghany, S., Shehab, A. (2019). An Efficient Deep Learning Model for Olive Diseases Detection. International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 10(8), 486-492.
- Bai, Y., Guo, Y., Zhang, Q., Cao, B., Zhang, B. (2022). Multi-network fusion algorithm with transfer learning for green cucumber segmentation and recognition under complex natural environment. Comput. Electron. Agric. 194, 106789.
- Banerjee, G., Sarkar, U., Ghosh, I. (2017). A Radial Basis Function Network based classifier for Tea Pest Detection, IJARCSSE, vol. 7 no. 5, pp. 665-669.
- BlueRiver, (2019). <http://www.bluerivertechnology.com/> (Access Date: 26.11.2019).
- Cai, Y., Zeng, F., Xiao, J., Ai, W., Kang, G., Lin, Y., Cai, Z., Shi, H., Zhong, S., Yue, X. (2023). Attention-aided semantic segmentation network for weed identification in pineapple field. Comput. Electron. Agric. 210, 107881 <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107881>.
- Chaudhry, S., Chandra, R. (2017). Face detection and recognition in an unconstrained environment for mobile visual assistive system. Applied Soft Computing. 53(2017), 168-180.

- De Lima, V. R., Morais, M, C. C., and Kirchgatter, K. (2024). Integrating artificial intelligence and wing geometric morphometry to automate mosquito classification. *Acta Tropica* 249. 2024. 107089.
- Derawi, M.O. (2012). *Smartphones and Biometrics*. Doktora Tezi, Gjøvik University College. Norway.
- Duckett, T., Pearson, S., Blackmore, S., Grieve, B. (2018). *Agricultural Robotics: The Future of Robotic Agriculture*, UK-RAS.
- Ghosh, I. and Samanta, R.K. (2003). "TEAPEST: An expert system for insect pest management in tea," *Applied Engineering in Agriculture*, vol. 19 no. 5, pp. 619, 2003.
- Golgiyaz, S., Talu, M.F., Onat, C. (2019). Görüntü İşleme ve Makine Öğrenmesi Yöntemleri ile Baca Gazı Sıcaklığının Tahmin Edilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 16, 283-291.
- Grijalva, I., Clark, N., Hamilton, E., Orpin, C., Perez, C., Schaefer, J., Vogts, K. and McCornack, B. (2024). Comprehensive wheat coccinellid detection dataset: Essential resource for digital entomology. *Data in Brief.*, 55: 2024: (1-8).
- Hakme, E., Herrmann, S., S., E. Poulsen, M. (2020). Data processing approach for the screening and quantification of pesticide residues in food matrices for early-generation GC-TOFMS. *Brazilian J. Anal. Chem.* 7 <https://doi.org/10.30744/brjac.2179-3425.AR-36-2019>.
- Huang, K.Y. (2007). "Application of artificial neural network for detecting *Phalaenopsis* seedling diseases using color and texture features," *Computers and Electronics in agriculture*, vol.57 no. 1, pp. 3-11.
- Jiang, W., Quan, L., Wei, G., Chang, C., Geng, T. (2023). A conceptual evaluation of a weed control method with post-damage application of herbicides: a composite intelligent intra-row weeding robot. *Soil Tillage Res.* 234, 105837 <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105837>.
- Kong, S., Li, J., Zhai, Y., Gao, Z., Zhou, Y., Xu, Y. (2023). Real-time detection of crops with dense planting using deep learning at seedling stage. *Agronomy* 13, 1503. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061503>.
- Külcü, R. (2015). Ortaçağ Anadolu'sunun Büyük Mühendisi El-Cezeri. *Akademia Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 1(1), 1-9.

- Mahanta, D.,K., Bhoi, T.K., Komal, J., Samal, I., and Mastinu, A. (2024). Spatial, spectral and temporal insights: harnessing high-resolution satellite remote sensing and artificial intelligence for early monitoring of wood boring pests in forests. *Plant Stress* 11 (2024) 100381.
- Mamdouh, N., Wael, M and Khattab, A. (2022). Artificial intelligence-based detection and counting of olive fruit flies: A comprehensive survey. *Deep Learning for Sustainable Agriculture. Cognitive Data Science in Sustainable Computing.* Chapter 14. 357-380.
- Mohanty, S.P., Hughes, D.P., Salath'e, M. (2016). Using deep learning for image-based plant disease detection. *Front. Plant Sci.* 7, 1419.
- Molinari, F.A., Blanco, A.M., Vigna, M.R., Chantre, G.R. (2020). Towards an integrated weed management decision support system: a simulation model for weed-crop competition and control. *Comput. Electron. Agric.* 175 <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105597>.
- Nabiyeu, V. (2016). Yapay Zeka. Stratejili Oyunlar, Örüntü Tanıma, Doğal Dil İşleme. Seçkin Yayıncılık 5. Baskı. Sertifika no: 12416, ISBN: 978-975-02-3727-0.
- Nasiri, A., Omid, M., Taheri-Garavand, A., Jafari, A. (2022). Deep learning-based precision agriculture through weed recognition in sugar beet fields. *Sustainable Computing: Informatics and Systems* 35, 100759. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2022.100759>.
- Pabuççu, H. ve Bayramoğlu, T. (2016). Yapay Sinir Ağları ile CO2 Emisyonu Tahmini: Türkiye Örneği, *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18(3), 762-778.
- Panpatte, D.G. (2018). *Artificial Intelligence in Agriculture: An Emerging Era of Research*, Anand Agricultural University.
- Partel, V., Kakarla, S.C., Ampatzidis, Y. (2019). Development and evaluation of a low-cost and smart technology for precision weed management utilizing artificial intelligence. *Computers and Electronics in Agriculture* 157 (2019) 339–350.
- Quan, L., Jiang, W., Li, Hailong, Li, Hengda, Wang, Q., Chen, L. (2022). Intelligent intra- row robotic weeding system combining deep learning technology with a targeted weeding mode. *Biosyst. Eng.* 216, 13–31. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2022.01.019>.

- Quan, L., Lou, Z., Lv, X., Sun, D., Xia, F., Li, H., Sun, W. (2023). Multimodal remote sensing application for weed competition time series analysis in maize farmland ecosystems. *J. Environ. Manag.* 344, 118376 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118376>.
- Rahman, A., Lu, Y., Wang, H. (2023). Performance evaluation of deep learning object detectors for weed detection for cotton. *Smart Agricultural Technology* 3, 100126. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100126>.
- Richard Elwes, *Yapay Zekâ Nasıl Oluşturulur? İthaki Yayınları*, 2013.
- Robindro, K., Sarma, S. Kr. (2013). JESS Based Expert System Architecture for Diagnosis of Rice Plant Diseases: Design and Prototype Development. 2013 4th International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation.
- Sabzi, S. and Abbaspour-Gilandeh, Y. (2018). Using video processing to classify potato plant and three types of weed using hybrid of artificial neural network and partinle swarm algorithm. *Measurement* 126 (2018) 22–36.
- Saini, H.S., Kamal, R., Sharma, A.N. (2002). "Web based fuzzy expert system for integrated pest management in soybean," *International Journal of Information Technology*, vol. 8 no. 1, pp. 55-74.
- Sannakki, S.S. (2011). "Leaf disease grading by machine vision and fuzzy logic," *Int. J. of Comp. Tech. and Application*, vol. 2 no. 5, pp. 1709-1716.
- Singh, V. and Misra, A.K. (2017). Detection of Plant Leaf Diseases Using Image Segmentation And Soft Computing Techniques. *Information Processing In Agriculture* 4 (2017) 41–49.
- Taşdemir, S.B.Y. (2018). *Early Prognosis of Breast Cancer Using Image Processing and Machine Learning. Yüksek Lisans Tezi, Abdullah Gül Üniversitesi, Kayseri.*
- Tilva, V., Patel, J., Bhatt, C. (2013). "Weather based plant diseases forecasting using fuzzy logic," *In proc. (NUiCONE), IEEE.*
- Too, E.C., Yujian, L., Njuki, S., Yingchun, L. (2019). A comparative study of fine-tuning deep learning models for plant disease identification. *Comput. Electron. Agric.* 161, 272–279.
- Stankovic, R.S., ve Astola, J. (2011). *From Boolean Logic to Switching Circuits and Automata. Springer- Verlag Berlin Heidelberg. Germany.*

- Özgen, İ. and Altay, O. (2021). Predicting the LD50 values of two different vinegars whose insecticidal effect was determined by the spraying method against *Tribolium confusum* Jacquelin du val (Coleoptera: Tenebrionidae) using different artificial neural networks models. International Journal of Zoological and Entomological Letters 2021; 1(2): 39-47
- Özgen, İ., Alataş, B., Yıldırım, G. (2024). Determination of Optimization of Different Release Parameters of *Oenopia conglobata* (Coleoptera: Coccinellidae) used in Biological Control of Pistachio Psylla *Agonoscena pistaciae* (Homoptera: Psyllidae) with Ecological Parameters by Different Machine Learning Methods. Mun. Entomol. Zool. 19 (1): 443-460.
- Valente, J., Hiremath, S., Ariza-Sentís, M., Doldersum, M., Kooistra, L., (2022). Mapping of *Rumex obtusifolius* in nature conservation areas using very high resolution UAV imagery and deep learning. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. 112, 102864 <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102864>.
- Vasileiou, M., Kyrgiakos, L. S., Kleisiari, C., Kleftomidos, G., Vlontzos, G., Belhouhette, H. and Pardalos, P. M. (2024). Transforming weed management in sustainable agriculture with artificial intelligence: A systematic literature review towards weed identification and deep learning. Crop Protection. 176 (2024): 106522.
- Waltman, L., Ecken, N. (2010). VOSViewer: visualizing scientific landscapes. <https://www.vosviewer.com/>.
- Yalçınkaya, A. (2019). Yapay Zeka ve Sosyal Bilimler. XI. Uluslararası Uludağ Uluslararası İlişkiler Kongresi. 1, 10-26.
- Yasmin, R., Das, A., Rozario, R.J and Islam., M. E. (2023). Butterfly detection and classification techniques: A review. Intelligent Systems with Applications 18 (2023): 1-23.
- Yu, J., Sharpe, S.M., Boyd, N.S. (2019b). Fumigants alone or in combination with herbicide for weed management in bell pepper (*Capsicum annuum*). Crop Protect. 118, 31–35. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.12.010>
- Tuncay, M. (1975). Aristoteles: Politika. Remzi Kitabevi Yayınları.

Xu, Z., Yang, Q. (2012). Analyzing User Retweet Behavior on Twitter. IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining, İstanbul, 46-50.

BÖLÜM 3

BİTKİ HASTALIKLARINDA BİYOLOJİK KONTROL MEKANİZMALARI: SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIMIN ANAHTARI

Doç. Dr. Figen DÖNMEZ¹
Dr. Işıl TEMEL²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13767841>

¹ Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Iğdır, Türkiye, sudefigen@hotmail.com, Orcid ID: 0000-0002-7992-8252

² Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Iğdır, Türkiye, isil.temel@hotmail.com, Orcid ID: 0000-0001-5968-3609

GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızla artması hem nitelik hem de nicelik açısından tarım ürünlerine yoğun bir ihtiyaç doğurmaktadır. Buna bağlı olarak, büyük miktarda kimyasal gübre girişinin eşlik ettiği modern yoğunlaştırılmış tarım, genellikle önemli ekonomik kayıplara neden olan bitki hastalıklarına maruz kalmaktadır (Morales-Cedeno et al., 2021; Raza et al., 2017). Bitki hastalıkları, dünyadaki verim kaybından sorumlu ana faktörlerden biridir ve bu kaybın %20-40'ı patojenik enfeksiyonlardan kaynaklanmaktadır (Etasami et al., 2023). Bitki hastalıklarının kontrolünde, tarımsal kimyasallar kullanılarak ürün kalitesi ve üretimi önemli ölçüde iyileştirilmiştir. Ancak son yıllarda, bu tür kimyasalların uygulanması çevreyi kirletmesi, insan sağlığını ve ekosistemleri olumsuz etkilemesi nedeniyle sürdürülebilir değildir (Sharma et al., 2009). Çeşitli çalışmalar, pestisitlerin fitopatojenik türlerde direnci tetiklemenin yanı sıra toprakta, suda ve atmosferde zararlı kalıntılar bıraktıklarını göstermektedir (Gilden et al., 2010; Lucas 2011; Villarreal-Delgado et al., 2018). Buna ek olarak, kimyasal çözümlerin sınırlı olduğu, etkisiz olduğu veya hiç bulunmadığı bir dizi hastalık vardır (Gerhardson, 2002). Bu nedenle, tarımda pestisit kullanımının ortadan kaldırılmasına veya azaltılmasına odaklanan verimli ve çevre dostu teknolojilerin geliştirilmesi oldukça arzu edilir bir durumdur (Santoyo et al., 2012). Ayrıca organik meyve ve sebze ihracatının dünya pazarlarında yaygın olarak kabul gören bir uygulama olması nedeniyle yeni teknolojilerin ve kimyasal kullanımına alternatiflerin üretilmesi gerekmektedir. Bu hedefe ulaşmak için umut verici alternatiflerden birisi mikrobiyal biyokontrol elemanlarının kullanıldığı biyolojik kontroldür (Vinale et al., 2007; Santoyo et al., 2016). Biyolojik kontrol, bitki hastalıklarını yönetmek ve ürün kaybını azaltmak için en ekonomik ve uzun vadede etkili stratejilerden birisidir (El-Saadony et al., 2022).

Bitkiler ve mikroorganizmalar arasındaki etkileşimlerin önemli olduğu uzun zamandır bilinmektedir. Bitki-mikroorganizma etkileşimleri üzerine araştırmalar, rizosferin keşfedilmesiyle başlamıştır. O zamandan beri çok sayıda çalışmada, bitki hastalıklarının şiddetinin azaltılmasının, bitkilerin patojenlerden korunmasının ve bitkilerin verimliliğinin artırılmasının rizosfer mikroorganizmalarının etkileşimlerine bağlı olduğu gösterilmiştir (Glick and Gamalero 2021). Bu konuda büyük önem taşıyan ve olması gerektiği gibi araştırılmamış bir diğer bitki bölgesi de filozferdir. Massoni et al., (2020) tarafından yapılan çalışmalara göre, yapraklar veya çiçekler gibi bitki organlarının yüzeylerindeki yerleşik mikrobiyotanın daha önce düşünülenlerden daha fazla korunmuş olabileceği öne sürülmektedir. Bu nedenle mikroorganizmaların filozfere uyum sağlayıcı rolünün, bitkiye özgü olabileceği belirtilmektedir (Crombie et al., 2018; Herpell et al., 2020). Bu mikroorganizmalar içerisinde yer alan bakteri türleri bitki büyümesini teşvik eden bakteriler (BGTB) olarak adlandırılmaktadır (Etesami and Maheshwari 2018; Glick 2012) ve çeşitli tarımsal ortamlarda doğrudan ve dolaylı olarak bitki gelişimini arttıracak bir dizi mekanizmayla donatılmışlardır. Bu mekanizmaların anlaşılması, optimum hastalık kontrolünün sağlanması, hedef dışı mikrobiyota üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi ve kontrol potansiyellerinin güçlendirilip güçlendirilemeyeceğinin belirlenmesi için temel öneme sahiptir (Vero et al., 2023). Bu bölüm bakteriler tarafından bitki patojenlerinin biyolojik kontrolünde yer alan mekanizmalara genel bir bakış sunmaktadır.

Biyokontrol Mekanizmaları

1. Antibiyotik Üretimi

Antibiyotikler, BGTB tarafından üretilen ve patojenlerin metabolik süreçlerini veya büyüme faaliyetlerini engelleyebilen, düşük moleküler ağırlıklı, çeşitli organik bileşikler grubudur (Duffy et al., 2003). Bakteriyel antagonistler, düşük konsantrasyonlarda bile inhibitör

özelliğe sahip olan bu metabolitlerin hücre dışı salgılanması yoluyla fitopatogenlerin baskılanmasını sağlamaktadır (Goswami et al., 2016).

Bakteri strainlerinin patojenlere karşı biyokontrol adayı olma potansiyeli genellikle bir veya daha fazla antibiyotiğin üretilmesiyle ilişkilidir (Glick et al., 2007). Çoğunlukla straine özgü olan bu antibiyotikler patojen hücre duvarı sentezinin engellenmesini, hücre zarı yapılarının etkilenmesini ve ribozomun küçük alt birimi üzerindeki başlatma komplekslerinin gelişiminin inhibisyonunu içeren etki mekanizmalarıyla çok çeşitli fungus ve bakteri türlerinde tespit edilmiştir (Abriouel ve ark., 2011; Nazari and Smith, 2020). Başta *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Burkholderia*, *Pseudomonas*, *Pantoea* ve *Streptomyces* olmak üzere çeşitli bakteri cinslerindeki türlerin, farklı etki kapsamlarına sahip kimyasal olarak çeşitli antibiyotikler ürettiği gösterilmiştir (Grady et al., 2016).

Antibiyotikler esas olarak ribozomal (bakteriosinler-antibakteriyel özelliklere sahip peptitler) veya ribozomal olmayan şekilde (siklik lipopeptitler, küçük peptitler ve poliketitler) üretilmektedir (Butt and Bastas, 2022). Bu tür peptitler kimyasal yapılarına göre doğrusal ve siklik peptitler olmak üzere iki grupta da sınıflandırılabilir (Etesami et al., 2023).

Ribozomal olarak sentezlenen antibiyotik peptitler

Bakteriler tarafından üretilen çeşitli ribozomal peptidler antibakteriyel özellikleri ile patojenlere karşı etkilidir. Ribozomal peptitler olarak bakteriyosinler, hücre lizizi, hücre zarında gözenek oluşumu veya hücre duvarı biyosentezinin inhibisyonu yoluyla etki eden geniş bir antibakteriyel aktivite spektrumu sergilemektedir (Abriouel et al., 2011; Lajis 2020). Gram pozitif ve gram negatif bakteriyel bitki patojenlerine karşı bakteriyosin aktivitesi zaman zaman rapor edilmiştir (Zou et al., 2018). Bakteriyosinlerin antimikrobiyal mekanizmaları genellikle dar bir etki spektrumuyla aynı veya yakın akraba türlere

yöneliktir. *Bacillus subtilis*, *B. coagulans*, *B. thuringiensis*, *B. cereus* ve *B. amyloliquefaciens*' ten izole edilen bakteriyosinler ve bakteriyosin benzeri maddeler (subtilin, subtilosin B, amisin, subtilosin A, thuricin ve amylolysin) tanımlanmıştır (Abriouel et al., 2011). *B. velezensis* strain FZB42 tarafından üretilen amilosiklinin, *Clavibacter michiganensis*'e karşı antibakteriyel bir aktivite sergilediği, Bac IH7 ve Bac14B strainlerinin ise *Rhizobium radiobacter*, *Alternaria solani*, *Pseudomonas* spp. ve *Erwinia carotovora*'nın büyümesini inhibe ettiği tespit edilmiştir (Hammami et al., 2009; Scholz et al., 2014). Farklı çalışmalarda *B. subtilis* strain A014'ten saflaştırılan bakteriyosin benzeri inhibitör maddeler olarak kabul edilen LCI peptidlerin, *Ralstonia solanacearum* ve *Xanthomonas campestris*'in gelişimini engellediği bulunmuştur. *B. amyloliquefaciens* strain FS6 tarafından üretilen LCI benzeri bir peptit olarak adlandırılan APC2 proteininin ise *Fusarium solani* enfeksiyonunu önlediği gösterilmiştir (Fan et al., 2018; Saikia et al., 2019; Wang et al., 2021).

Ribozomal olmayan şekilde sentezlenen antibiyotik peptitler

Ribozomal olmayan şekilde sentezlenen antibiyotik peptitler olarak siklik lipopeptitler, çok çeşitli bitki patojenlerine karşı antagonistik etkileriyle iyi bilinmektedir (Stein 2005). Bu peptitler, büyük ribozomal olmayan peptit sentetazları tarafından sentezlenmektedir (Cawoy et al., 2015). Siklik lipopeptit etkilerinin birincil mekanizmaları genellikle hedef patojenlerin hücre zarı ile etkileşimini içermektedir. Bu etkileşim, iyon ileten gözeneklerin çözünmesi veya oluşumu yoluyla hücre zarının yapısında ve geçirgenliğinde değişikliklere neden olması şeklindedir (Fira et al., 2018). Ayrıca siklik lipopeptitlerin DNA gibi hücre içi yapılarla etkileşime girdiği de gösterilmiştir. Son araştırmalar, siklik lipopeptitlerin, *Bacillus* strainlerinin rizosferdeki kolonizasyonunu ve kalıcılığını etkilediğini ve bitki savunma mekanizmalarını uyardığını göstermektedir (Zhang et al., 2013). *Bacillus* spp.'den elde edilen en

önemli siklik lipopeptitler iturin, fengisin ve sürfaktin ile temsil edilmektedir (Stein 2005).

İturinler (basillomisin, iturin, mikosubtilin, subtulen, basillopeptinler, mixirinler ve mojavensin), *B. vallismortis*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. circulans* ve *B. pumilus* tarafından üretilen güçlü antifungal peptitlere sahip β -amino yağ asitleri içeren heptapeptitlerden oluşmaktadır. İturinler, *Colletotrichum gloeosporioides* (Jin et al., 2020), *Aspergillus flavus* (Gong et al., 2014), *Alternaria*, *Botrytis*, *Gloesporidium*, *Penicillium*, *Pestalotia* cislerine ait çok çeşitli fungal patojenler üzerinde etkili olurken, bakteriyel patojenlere karşı daha az aktivite göstermektedirler (Falardeau et al., 2013; Ambrico and Trupo 2017; Sabaté et al., 2018).

Fengisinler (maltacin, fengycin ve plipastatin), *B. amyloliquefaciens* ve *B. subtilis*'te tespit edilen dekapeptitlerdir. Çeşitli çalışmalarda fengisinlerin fungal patojenlerin membran hücrelerine, hif ve konidialarına zarar verdikleri (Liu et al., 2011; Gu et al., 2017; Hanif et al., 2019) ve bitkileri *Monilinia*, *Fusarium*, *Rhizoctonia* (Falardeau et al., 2013; Guo et al., 2014) gibi fungal patojenlerin enfeksiyonlarından korudukları belirlenmiştir. *Rhizopus stolonifera* (Tao et al., 2011), *Magnaporthe grisea* (Zhang and Sun 2018) ve *Rhizoctonia solani* (Guo et al., 2014) gibi filamentli fungusların gelişimini önleyen fengycinin *F. graminearum* tarafından üretilen zararlı mikotoksin sentezini de engellediği rapor edilmiştir (Hanif et al., 2019). İturinlerin ve fengisinlerin esas olarak funguslara karşı etkili olduğu bilinmesine rağmen *Pectobacterium carotovorum* ve *Xanthomonas campestris* (Zerouh et al., 2011), *Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria* (Medeot et al., 2020) ve *Ralstonia solanacearum*'a (Villegas-Escobar et al., 2018) karşı da antibakteriyel aktivite gösterdiği tespit edilmiştir.

Sürfaktinler β -hidroksi yağ asitlerine bir lakton köprüsüyle bağlanan siklik heptapeptitlerdir. Hem antifungal hem de antibakteriyel etki gösteren sürfaktinler *B. pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens*,

B. coagulans ve *B. licheniformis*'te tanımlanmıştır. Sürfaktinlerin enfeksiyonu önleyici etkisi muhtemelen doğrudan antagonizmden değil, *Pseudomonas syringae* ve *R. solanacearum*'da olduğu gibi patojenlerin kolonizasyon sürecine müdahalesinden kaynaklanmaktadır (Bais et al., 2004; Almoneafy et al., 2014). Ayrıca surfaktinler sinyal faaliyetlerine katılmakta (Sansinenea and Ortiz, 2011), amfifilik doğaları nedeniyle lipit katmanlarına entegre olarak diğer organizmaların hücre zarlarının yapısını bozabilmektedir (Ongena and Jacques, 2008). Sürfaktin olarak belirlenen *B. licheniformis* tarafından üretilen antifungal lipopeptitin, pirinç bitkisinde patojen olan *Magnaporthe grisea*'nın gelişiminin önlenmesinde çok başarılı bulunmuştur (Tendulkar et al., 2007). *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii* ve *Pythium aphanidermatum*'a karşı antifungal aktivite, bir sürfaktin olan lipopeptit pumilacidin üretimi nedeniyle *B. pumilus*'a atfedilmiştir (Melo et al., 2009). *B. subtilis* strain 9407'nin sürfaktin ürettiği ve seralarda yetiştirilen kavun fidelerinin biyokontrolünde oldukça etkili olduğu ve aynı zamanda bitki patojeni *Acidovorax citrulli*'ye karşı *in vitro* güçlü antibakteriyel etki gösterdiği bulunmuştur. Bu tür aktiviteler, sürfaktin üretmeyen mutantında gözlenmemiştir ki, bu da sürfaktinin biyokontrolde önemini göstermektedir (Fan et al., 2017).

Sürfaktin bazı araştırmacılar tarafından antimikrobiyal bir molekül olarak kabul edilmese bile biyolojik membranlarla etkileşime girmesi ve yapısal değişiklikleri tetikleme yeteneğine sahip olmasıyla dikkat çekmektedir (Deleu et al., 2013). Ayrıca surfaktinler biyokontrol elemanının biyofilm oluşturma yeteneğini ve hareketliliğini arttırmaktadır (Falardeau et al., 2013; Mora et al., 2015). Bununla birlikte surfaktinin antimikrobiyal aktivitesi, diğer siklik lipopeptitler ile sinerjistik bir etkiye bağlanmaktadır. Örneğin *B. subtilis*'in, iturin, sürfaktin, plipastatin, difficidin ve basillomisin gibi lipopeptitlerin üretimi yoluyla buğdaydaki *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* enfeksiyonunu baskılayabildiğini tespit etmiştir (Yang et al., 2018). Bir

çalışmada, surfaktinin basillomisin D veya mikosubtilin ile kombinasyonunun, *Fusarium oxysporum* f.sp. *iridacearum* (Mihalache et al., 2018) ve *Botrytis cinerea*'nın (Tanaka et al., 2015) daha etkili kontrolüne yol açtığı belirlenmiştir. Surfaktin ve fengisin kombine kullanımının ise *Phytophthora infestans* ve *F. oxysporum* f.sp. *iridacearum*'a karşı etkili olduğu bulunmuştur (Mihalache et al., 2018; Wang et al., 2020). *B. subtilis* tarafından üretilen sürfaktin ve iturin A'nın domatesteki önemli bir hastalık olan Çökerten'i baskıladığı (Asaka and Shoda, 1996), bakteriyosin, surfaktin ve fengisin üreten *B. amyloliquefaciens*'in çok sayıda gram pozitif ve negatif bakteri ve *Fusarium oxysporum*, *Mucor* sp. ve *Fusarium avenaceum*'a (Salazar et al., 2017) karşı çok güçlü bir biyokontrol elemanı olduğu belirlenmiştir (Ongena et al., 2005). İturin ve fengisin üreten *B. subtilis*'in *Pythium ultimum*'a (Han et al., 2015), benzer şekilde, *B. amyloliquefaciens*'ten elde edilen surfaktin, iturin ve fengisin gibi lipopeptitlerin *Sclerotinia sclerotiorum*'a karşı antifungal aktivite gösterdiği bulunmuştur (Sabaté et al., 2018).

Ribozomal olmayan şekilde sentezlenen diğer lipopeptitler arasında kurstakinler, basitrasinler, polimiksinler, tirosidinler ve gramisidinler bulunmaktadır. Kurstakinler, *B. thuringiensis* ve *B. cereus*'a özgü olup, bakteriyel ve fungal patojenlere karşı etkili olan siklik veya doğrusal heptapeptitlerdir (Gélis-Jeanvoine et al., 2017). Basitrasinler, *B. licheniformis*, *B. sonorensis* ve *B. subtilis* tarafından üretilen, aktivitesi esas olarak gram pozitif bakterilere yönelik olan siklik dekapeptitlerdir (Adimpong et al., 2012). Polimiksinler, gram negatif bakteri hücrelerinin gelişimini inhibe eden, *Paenibacillus polymyxa* tarafından üretilen siklik dekapeptitlerdir. Tirosidinler ve gramisidinler ise *Brevibacillus brevis* tarafından üretilen, çok çeşitli gram negatif ve gram pozitif bakterilere karşı aktif olan siklik dekapeptitlerdir (Wan et al., 2018). Birkaç *Bacillus* spp. çeşitli antifungal ve antibakteriyel aktivitelere sahip peptidler (rizoktisin, basilisin, amikoumasin,

diketopiperazinler ve mikobasilin) ve poliketidler (basillaen, makrolaktin, dihidrobasillaen ve difficidin) gibi ribozomal olarak sentezlenmeyen diğer antibiyotikleri ürettiği tespit edilmiştir (Wang et al., 2015). *B. velezensis* strain FZB42 tarafından üretilen, ribozomal olmayan şekilde sentezlenmiş bir molekül olan dipeptit basilisinin, *Xanthomonas oryzae*, *Erwinia amylovora* ve *Phytophthora infestans* gibi patojenlerin gelişimini engellediği rapor edilmiştir (Chen et al., 2009; Caulier et al., 2018).

2. Siderofor Üretimi

Demir, tüm yaşam formları için gerekli bir mikro besindir (Colombo et al., 2014) ve oksijen metabolizması, DNA ve RNA sentezi, elektron transferi ve enzimatik reaksiyonlar gibi farklı biyolojik süreçlerde rol almaktadır (Galaris et al., 2019). Yerkabuğunda en çok bulunan dördüncü element olmasına rağmen (Lahlali et al., 2022) pH > 6 olan topraklarda çözünürlüğü düşüktür ve mikroorganizmalar tarafından alınmaya uygun değildir (Lugtenberg and Kamilova, 2009). Bu nedenle, demirin biyoyararlılığı genellikle mikroorganizmalar arasında besin rekabetine neden olan sınırlayıcı bir faktör haline gelmektedir (Dimopoulou et al., 2021). Bu koşullar altında, bakteriler demir şelatlayıcı, ribozomal olmayan, düşük molekül ağırlıklı (~400-1500 Da), Fe³⁺ için olağanüstü yüksek afiniteye sahip siderofor adı verilen molekülleri sentezlemektedir (Ferreira et al., 2019; Saha et al., 2016). Sideroforlar fonksiyonel gruplarına hidroksamatlar, katekolatlar, karboksilatlar ve salisilatlar göre dört ana gruba ayrılmaktadır (Rasouli-Sadaghiani et al., 2014). Şu anda bilinen 500'den fazla siderofor vardır ve bu bileşiklerden 270 tanesinin kimyasal yapısı belirlenmiştir (Saha et al., 2016). Çeşitli bakteriyel sideroforlar arasında *Pseudomonas* cinsine ait türler tarafından üretilenlerin daha yüksek afiniteye sahip olduğu bilinmektedir (Beneduzi et al., 2012).

Siderofor üreten biyokontrol elemanları demiri iki mekanizma ile kullanabilmektedir: i) Hücre zarından Fe³⁺-siderofor kompleksi yoluyla

doğrudan veya ii) Hücre dışından Fe^{2+} komplekslerine indirgenerek (Hider and Kong, 2010). Böylece sideroforlar demirin hücre içine alınmasını ve taşınmasını kolaylaştıran bir ligand gibi davranmaktadır (Ghavami et al., 2017; Sabate et al., 2017). Bunun sonucunda rizosferik bölgedeki demir kullanılabilirliğini artırarak bitki büyümesini arttırdıkları gibi (Subramaniam et al., 2020) rizosferde demir rekabeti oluşturarak fitopatojen proliferasyonunu etkili bir şekilde baskılamakta ve popülasyonlarını azaltmaktadır (Saha et al., 2016). Dolayısıyla sideroforlar hem rizosferik bölgedeki demir kullanılabilirliğini artırarak hem de patojen gelişimini engelleyerek bitki büyümesini arttırmaktadır (Hakim et al., 2021).

Günümüzde, demire bağımlı fitopatojenik mikroorganizmaların büyümesini ve kolonizasyonunu sınırlayan siderofor üretimi yoluyla bitki hastalıklarını kontrol etme yetenekleri nedeniyle çeşitli bakteri strainleri rapor edilmiştir (Fgaier and Eberl, 2011).

3. Hidrolitik enzim üretimi

Hidrolitik enzimlerin üretimi fitopatojenlerin hücre duvarının parçalanması yoluyla aktivitelerinin inhibe edilmesine dayanan etkili bir mekanizmadır (Jadhav et al., 2017). Fungal hücre duvarında bulunan selüloz, hemiselüloz, kitin, proteinler ve DNA gibi farklı polimerik bileşikler, bakteriler tarafından salgılanan selülaz, kitinaz, proteaz, β -1,3-glukanaz gibi litik enzimler ile parçalanabilmektedir (Guleria et al., 2016). Hedef patojenin hücre duvarının yapısal bütünlüğünü bozan bu enzimler hiflerde kıvrılma, şişme ve parçalanma gibi anormalliklere neden olmaktadır (Kurek and Jaroszuk-Ścisiel 2003). Bu tür litik enzimlerden proteazlar, kitin türevi kitosandaki β -1,4-glikosidik bağların hidrolitik bozunmasını katalize eden kitosanazlar, selülazlar, lipazlar, β -glukosidaz, β -glucanslarda (mantar hücre duvarının kitinden sonra ikinci ana bileşeni) bulunan glikosidik bağları hidrolize eden β -1,3-glukanazlar ve kitinin (fungal hücre duvarlarının ana bileşeni ve selülozdan sonra doğal olarak en bol bulunan ikinci polisakkarit) içindeki β -1,4-glikosidik

bağları parçalayan kitinazlar fungal hücre duvarı bileşenlerini parçalayabildikleri için özellikle önemlidir (Caulier et al., 2019; Miljaković et al., 2020; Saxena et al., 2020). Bitki hücrelerinde kitin bulunmadığından kitinaz uygulamasının glukanaz uygulamasından daha etkili olduğu da bilinmektedir (Das et al., 2010). Tam hücre duvarı bozulmasının birden fazla enzimin aktivitesine bağlı olduğu ifade edilmektedir. Maksimum etkinlik için hidrolitik enzimlerin tamamlayıcı etki modlarına sahip karışımlarının gerekli olabileceği, doğru enzim kombinasyonlarının antifungal aktiviteyi artırabileceği belirtilmektedir. Toprak kaynaklı floresan Pseudomonaslar, kitinaz, proteaz/elastaz ve β -1,3 glukanaz gibi farklı türde hücre duvarı parçalayıcı enzimler üretebildikleri için bu bağlamda daha fazla ilgi gören bakteri grubunu oluşturmaktadır (Etesami and Alikhani, 2016; Mardanova et al., 2016).

4. Quorum Quencing

Bazı bakteri türleri quorum quenching (QQ) yoluyla patojene müdahale ederek patojen gelişiminin doğrudan inhibisyonu yoluyla bitki hastalıklarını kontrol etme konusunda büyük bir potansiyele sahiptir (Rehman and Leiknes, 2018). Quorum sensing (QS), bakterilerin otoindüktör (AI) adı verilen hücre dışı sinyal moleküller üretimini, tespitini ve bunlara yanıt verilmesini içeren bir iletişim sürecidir (Li and Tian 2012; Prazdnova et al., 2022). Bu süreçte bakteriler popülasyon yoğunlukları arttıkça hücre dışında biriken AI'leri üreterek serbest bırakmaktadır. AI üreten bakteri strainleri, spesifik reseptörler aracılığıyla bu kimyasal sinyallerin birikimini izlemektedir (Jayaraman and Wood 2008; Deng et al., 2011). AI'ler minimum eşik konsantrasyonuna ulaştığında, üreten bakterilerde gen ifadesi değişmekte ve belirli faaliyetler indüklenmektedir (Helman and Chernin 2015). Bu faaliyetler savunma veya saldırı mekanizmalarıyla, biyölüminesans, antibiyotik üretimi ve biyofilm oluşumu ile ilişkilidir (Novick and Geisinger 2008).

Quorum sensing (QS) sinyalleri birçok patojende virülans genlerinin indüksiyonunda çok önemlidir ve bu nedenle virülans genlerinin indüksiyonuna katılan QS sinyallerine müdahale edilerek hastalık şiddetini önemli ölçüde azaltmak, dolayısıyla hastalık gelişimini kontrol etmek mümkün olabilmektedir (Helman and Chernin 2015; Olanrewaju et al., 2017). Gram pozitif ve gram negatif bakteriler farklı QS sistemleri kullanmaktadır (Rutherford and Bassler 2012). Gram pozitif bakteriler AI olarak peptidleri kullanırken, gram negatif bakteriler açıl homoserin laktonları (AHL'ler) ya da sentezi S-adenozilmetiyonine (SAM) dayanan moleküller olan daha küçük molekülleri kullanmaktadır (Wei et al., 2011). Genel olarak virülans ve patojenite faktörlerinin ekspresyonu QS sonucunda başlatılmaktadır. Bu nedenle QQ tarafından QS'nin bozulması, hücreler arası iletişimin kesintiye uğramasıdır (Fan et al., 2020; Prazdnova et al., 2022). QQ, AI'lerin sentezinin veya tespitinin engellenmesi, sinyal moleküllerinin enzimatik olarak bozulması veya modifikasyonu ve QS molekülleri tarafından uyarılan hedef genlerin ekspresyonunun bloke edilmesi gibi farklı mekanizmalarla elde edilebilmektedir (LaSarre and Federle, 2013; Grandclément et al., 2016). En çok çalışılan QQ mekanizması, QS molekülü olarak AHL'lerin enzimatik bozunmasıdır (Dong et al., 2002). AHL asilazlar, AHL laktonazlar, AHL oksidoredüktazlar ve AHL oksidazlar dahil olmak üzere çeşitli enzimlerin AHL'lerin bozunmasını kolaylaştırdığı rapor edilmiştir (Paluch et al., 2020). Çeşitli mikroorganizmalar tarafından üretilen AHL laktonazlar en çok çalışılan konu olmuştur (Prazdnova et al., 2022). AHL parçalayıcı enzimlerin *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*'un virülansını azalttığı rapor edilmiştir. Bu gram negatif bakteri, patates, havuç, domates, soğan ve salatalık dahil olmak üzere birçok üründe yumuşak çürüklük etmenidir (Lim et al., 2013). Hastalık etmeninin patojenitesi, pektat liyaz (Pel), pektin liyaz (Pnl), poligalakturonaz (Peh), selülaz (Cel) ve proteaz (Prt) dahil olmak üzere bitki hücre duvarını parçalayan enzimlere bağlıdır (Joshi et al., 2016). Bu ekzoenzimlerin üretimi, esas olarak AHL'ler aracılığıyla QS

tarafından kontrol edilmektedir (Pöllumaa et al., 2012). Bu bağlamda, birçok QQ bakteri straininin ve bunların ürettikleri AHL'yi parçalayan enzimlerinin, QS moleküllerini parçalayarak patojende hücre duvarı parçalayıcı ekzoenzimlerin sentezini ve birikmesini önlediği rapor edilmiştir. Örneğin *Mesorhizobium* sp. ve *Lysinibacillus* sp.'nin AHL laktonazların üretimi yoluyla *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*'nın patojenitesini önemli ölçüde azalttığı tespit edilmiştir (Mahmoudi et al., 2011; Garge and Nerurkar, 2016). *B. thuringiensis*, *B. cereus*, *B. mycoides* türleri AHL'leri enzimatik olarak etkisiz hale getirebilen strainler olarak tanımlanmıştır (Dong et al., 2002; Huma et al., 2011). Garge ve Nerurkar (2017) tarafından yapılan çalışmada topraktan izole edilen 20 AHL parçalayıcı *Bacillus* straininden 3 tanesinin (As30, Gs42 ve Gs52) virülans için AHL aracılı QS'ye bağımlı bir patojen olan *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*'un patates ve havuçta gösterdiği hastalık şiddetini kayda değer ölçüde azalttığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde, patojenik *P. syringae* pv. *passiflorae* tarafından üretilen AHL bileşiğinin N-tetradekanoil homoserini hedef substrat olarak kullanan AHL bozunma aktivitesine sahip 11 *Bacillus* straini tarafından inhibisyonu sonucunda *P. syringae* pv. *passiflorae*'nin hem virülans faktörlerinin hem de hastalık indüksiyonunun engellendiği bulunmuştur (Jose et al., 2019).

5. Induced Systemic Resistance

Rizosferde bulunan bakterilerin, bitki büyümesini destekleyici ve bitki verimini arttırıcı özellikleri iyi bilinmektedir (Ahkami ve ark., 2017). Bununla birlikte rizobakteri türleri bitki ile etkileşimlerinin spesifikliğine bağlı olarak bitkide biyokimyasal ve moleküler savunma tepkileri üreterek bitkilerde var olan savunma mekanizmalarını harekete geçirmektedir ki bu indüklenmiş sistemik direnç (ISR) olarak ifade edilmektedir (Choudhary and Johri 2009; Pieterse et al., 2014). Kök sisteminde kolonize olan BGTB tarafından tetiklenen ISR'de savunma sinyalleri bitki boyunca sistemik olarak yayılmakta ve patojenlere karşı

enfekte olmamış dokuların savunma kapasitesini arttırmaktadır (Van der Ent et al., 2008). Bakteriler savunmayla ilgili genlerin (patogenezle ilgili PR1, PR2 ve PR3 gibi genler, kalkon sentaz CHS gibi fenilpropanoid pathway genleri ve fitoaleksinin biyosentezinde rol oynayan fenilalanin amonyak, liyaz geni PAL, vb.) yukarı regülasyonu, bitki hücre duvarlarındaki modifikasyonlar (kaloz birikmesi, stomaların kapanması, vb.) ve savunmayla ilişkili antioksidan enzimlerin artan seviyeleri yoluyla bitki direncini uyararak hastalıkların kontrolünde önemli bir rol oynamaktadır (Yan et al., 2019; Howlader et al., 2020). Tek bir bakteri straini birden fazla patojene karşı bitki dayanıklılığını sağlayabilmektedir (Somers et al., 2004). ISR'nin farklı konukçularda fungus, bakteri ve virüsler de dahil olmak üzere çeşitli bitki patojenlerinin neden olduğu hastalıkların görülme sıklığını (hastalık insidansı) ve patojenitesini önemli ölçüde azalttığı bildirilmektedir (Waqas et al., 2015; Lee and Ryu, 2016; Beris et al., 2018; Kusajima et al., 2018; Wu et al., 2018a).

Bakteri strainlerinin ürettiği lipopeptidler, poliketidler, spesifik proteinler/peptidler, ekzopolisakkaritler (EPS) ve uçucu organik bileşiklerin (VOC) tümü jasmonik asit (JA) veya etilen (ET) sinyal yollarını aktive etmek için "elisitör" olarak hareket etmekte ve böylece JA / ET'e bağlı savunma genlerini, kaloz birikimini ve stomatal kapanmayı patojen enfeksiyonuna dayanıklılık ve hastalık şiddetini azaltmak için hazırlamaktadır (Gowtham et al., 2018; Vanthana et al., 2019). Ayrıca strainler tarafından üretilen bu bileşiklerin farklı sinyal yolları aracılığıyla bitki ISR'sini etkinleştirmek için sinerjik etki gösterdikleri de belirtilmektedir (Wu et al., 2018a; Wu et al., 2018b).

Siklik lipopeptidler farklı patosistemlerde anahtar ISR elisitörleri olarak görev yapmaktadır. Surfaktin, iturin ve fengisin, bitki sistemik dayanıklılığının güçlü indükleyicileri oldukları ifade edilmektedir (Choi et al., 2014; Crouzet et al., 2020). Sürfaktinin kök bölgesine uygulanmasının fasulye, domates ve *Arabidopsis thaliana* yapraklarında

Botrytis cinerea'ya bağlı hastalık şiddetini azalttığı belirlenmiştir (Ongena et al., 2007; Debois et al., 2015). Yapraklarda hiçbir *B. subtilis* hücresi tespit edilmediği için hastalık oluşumundaki bu azalmalardan ISR mekanizmasının sorumlu olduğu belirtilmiştir (Ongena et al., 2007). Strainler tarafından üretilen sürfaktin miktarı ile indüklenen bitki savunması arasında pozitif bir korelasyon bulunmuştur (Cawoy et al., 2014). *Bacillus* cinsine ait endofitik strainlerin, antifungal lipopeptitler ürettiği ve aynı zamanda sistemik dayanıklılığı indükleyerek mısır bitkisinde *Fusarium moniliforme*'nin gelişimini engellediği tespit edilmiştir (Chowdappa et al., 2013). Salatalık rizosferinden izole edilen *Bacillus amyloliquefaciens* strain SQR9'un, fengisin, sürfaktin ve 2,3-bütandiol gibi ikincil metabolitler ürettiği ve farklı sinyal yolları yoluyla Arabidopsis'te sistemik dayanıklılığı uyardığı belirlenmiştir (Wu et al., 2018b). Toprakta izole edilen *Bacillus velezensis* strain HN-2'nin ana sekonder metaboliti olan C15 sürfaktin A'nın hem *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*'ya karşı güçlü antibakteriyel aktivite gösterdiği, hem de patojenlere karşı bitki dayanıklılığını etkili bir şekilde başlattığı tespit edilmiştir (Jin et al., 2020).

Bakteri strainleri tarafından üretilen VOC'lerin de bitki dayanıklılığının indüklenmesinde rol oynadığı belirlenmiştir. Uçucu bileşiklerden gelen havadaki sinyallerin *Erwinia carotovora* enfeksiyonu sonucunda oluşan semptomlu yaprakların sayısını önemli ölçüde azalttığı tespit edilmiştir (Ryu et al., 2004). Asetoin ve 2,3-bütandiol uçucu bileşiklerinin bitkilerde sistemik dayanıklılığın indükleyicisi oldukları rapor edilmiştir (Rudrappa et al., 2010; Peng et al., 2019). Biberde ticari olarak temin edilebilen 3-pentanol gibi bileşiklerin, *Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria*'ya karşı indüklenen dirençte rol oynadığı, ISR'yi teşvik eden *B. amyloliquefaciens* tarafından üretilen VOC'lerin aynı patojenin neden olduğu bakteriyel yaprak lekeli hastalığını önemli ölçüde azalttığı kaydedilmiştir (Choi et al., 2014).

Bakteri strainleri bitkilerde antioksidan savunma enzimlerinin sentezini indükleyerek ISR'yi ortaya çıkarabilmektedir. Yapılan çalışmalarda fenil amonyak liyaz, peroksidaz ve polifenol oksidaz gibi savunma ile ilgili birçok oksidatif enzimin *Bacillus* spp. tarafından üretildiği tespit edilmiştir (Jayaraj et al., 2004; Arfaoui et al., 2007). *B. cereus* ve *Serratia marcescens*'in, savunma enzimlerinin [peroksitler (POX), polifenol oksidazlar (PPO), glukanaazlar (GLU), kitinaazlar (CHI), fenilalanin amonyak-liyazların (PAL) ve lipoksijenazlar (LOX)] aktivasyonu ile konukçunun solgunluk hastalığına karşı direncinde etkili olduğu kanıtlanmıştır (Ferraz et al., 2014). *Pseudomonas putida* ve *Pseudomonas syringe*'nin, domates bitkisinde fenoliklerin birikiminin yanı sıra PAL, PO, PPO'nun yüksek oranda enzim aktivitesini indükleyerek *Alternaria solani*'ye karşı sistemik bir tepki uyardığı rapor edilmiştir (Ahmed et al., 2011). Benzer şekilde Chowdappa et al. (2013), tarafından *B. subtilis* strain OTPB1'in sistemik direnci uyararak *A. solani*'nin gelişimini engellediği bildirilmiştir. Ayrıca, antioksidan savunma enzimlerinin artan sentezi, domates fidelerinde erken ve geç yanıklığa karşı ISR ile sonuçlanmıştır. Rais et al. (2017) tarafından yürütülen çalışmada, *Bacillus* spp'nin pirinçte süperoksit dismutaz, peroksidaz, polifenol oksidaz ve fenil amonyak liyaz aktivitelerini arttırdığı, böylece *Pyricularia oryzae* kaynaklı oksidatif hasarı hafiflettiği ve hastalığı baskıladığı gösterilmiştir. Antagonistik *Bacillus* sp.'nin savunma ile ilgili enzimlerin aktivasyonu ve fenolik bileşiklerin birikimi yoluyla biberde antraknoz hastalığını engellediği (Jayapala et al., (2019), benzer şekilde, soya fasulyesinde savunma ile ilgili enzimlerin (fenil amonyak liyaz, peroksidaz ve polifenol oksidaz) sentezini sağlayarak *Rhizoctonia solani* ve *Fusarium oxysporum*'a karşı koruma sağladığı belirlenmiştir (Jain et al., 2017). Bir *Bacillus* straini tarafından *Plasmopara halstedii*'ye karşı direncin indüklenmesine, ayçiçeğinde savunma ile ilgili enzimlerin (fenil amonyak liyaz, peroksidaz ve polifenol oksidaz) birikiminin eşlik ettiği gösterilmiştir (Nandeeshkuma et al., 2008).

Bitkilerdeki etilen ve jasmonat sinyallerinin ISR'de rol oynadığı ve bu iki hormonun çeşitli bitki patojenlerine karşı mikroorganizmaların aracılık ettiği ISR'yi düzenleyerek konukçu bitkinin savunma tepkilerini uyardığı tespit edilmiştir (Glick 2012). Son zamanlarda yapılan bir çalışmada, *Bacillus* spp'nin birçok bitkide çeşitli biyotik streslere karşı ISR sağlayan salisilik asit ürettiği saptanmıştır (Passari et al., 2018). Oksinler, giberallik asit, sitokinler ve brassinosteroidler gibi diğer bitki hormonlarının da bitki dayanıklılığına katkıda bulunduğu belirlenmiştir (Nakashita et al., 2003; Kazan and Manners, 2009; Giron et al., 2013; Rady et al., 2021). *B. subtilis*'in pirinçte *Rhizoctonia solani*'ye karşı jasmonik asit ve etilenin yanı sıra absisik asit ve oksin sinyali yoluyla ISR'yi tetiklediği rapor edilmiştir (Spaepen et al., 2007). *B. thuringiensis* ve *B. subtilis* ile inokule edilen buğdayda salisilik asit seviyesinin arttığı ve bunun *Septoria nodorum*'a karşı savunma ile sonuçlandığı görülmüştür (Burkhanova et al., 2017). Etilen/jasmonik asit ve salisilik asit savunma sinyal ağları, *B. simplex* tarafından yönlendirilen tütünde erken bir bitki savunma sistemini ortaya çıkarmak için artan kalloz birikimi ve reaktif oksijen türlerinin üretimine dahil olduğu tespit edilmiştir (Miao et al., 2018). *B. cereus*'un yenedünya ağaçlarında *Colletotrichum acutatum*'a karşı polifenol oksidaz, fenil amonyak liyaz vb. üreterek ISR uyardığı belirlenmiştir (Wang et al., 2014). Lee et al. (2015) tarafından yapılan bir araştırmada *B. amyloliquefaciens* strain HK34'ün köke uygulanmasının *Phytophthora cactorum*'a karşı %99,1'e kadar hastalık azalması gösterdiği bulunmuştur ve benzer sonuçlar strainin tarla denemesinde yapraklara inokulasyonu sonucunda da elde edilmiştir. HK34 straini ile yapılan uygulamadan sonra bitki yapraklarında PgPR10, PgPR5 ve PgCAT genlerinin ifadesinde de bir artış gözlenmiştir. Bu bulgular HK34 straininin ISR-uyarıcı potansiyelini göstermiştir.

6. Kök Kolonizasyonu

Bitkiler ve bakteriler arasındaki ilişkiler sıklıkla rizosferde gerçekleşmektedir ve bu ilişki bitki gelişiminin artmasına, abiyotik streslerin üstesinden gelmesine, bitki hastalıklarının şiddetinin ve görülme sıklığının sınırlanmasına yardımcı olmaktadır (Zamioudis and Pieterse 2012). Rizosfer yeterliliği, bitki kökleri üzerinde veya çevresinde etkili bir bakteri popülasyonu oluşturma kapasitesini içermektedir (de Weert and Bloemberg 2007). Bitkiye eşlik eden bakterilerin patojenden daha hızlı rizosfer kolonizasyonu ile mevcut sınırlı substratları tüketerek patojenlerin erişemeyeceği hale getirdiği ve eş zamanlı olarak hastalık etmenlerine zarar veren metabolik bileşikler üreterek bitkiye koruma sağladıkları bilinmektedir (Trapet et al. 2016; Tabassum et al. 2017; Soni and Keharia, 2021).

Kök kolonizasyonu, bakteri popülasyonlarının rizosferde ektofitik olarak ve köklerin içinde endofitik olarak çoğalmasını ifade etmektedir (Hassan 2016). Kök kolonizasyon yeteneği, antimikrobiyal bileşiklerin ve bitki sistemik dayanıklılığını sağlayan uyarıcıların salgılanmasına da katkıda bulunmaktadır (Miljaković et al., 2020).

Rizosferde bitki kökleri, bakteriler için cezbedici görevi gören ve çevredeki toprağın fizikokimyasal özelliklerini iyileştiren, mikrobiyal toplulukların işlevini ve yapısını koruyan bir dizi eksudat salgılamaktadır (Pandey et al., 2017; Khan et al., 2021). Kök eksüdatlarının, bitki hastalıklarına yanıtta biyokontrol elemanlarının aktivitesi için son derece önemli olduğu kabul edilmektedir. Yapılan araştırmalarda kök eksüdatlarından salınan spesifik sinyallerin *Bacillus* strainlerinin fonksiyonunu tetiklediği bulunmuştur (Du et al., 2021; Yang et al., 2023).

Köklerin kolonizasyonu, bakteri strainlerinin gelişimi ve kemotaksisi ile gerçekleşmektedir (de Weert and Bloemberg 2007; Allard et al., 2016). Bakteriyel genomda kodlanan kemotaksis

mekanizması bireysel türlere özgüdür ve genom büyüklüğü ile ilişkili değildir. Bakteri genomu, hücre farklılaşması ve canlı organizmalarla karşılıklı ilişkileri düzenleyen genlerle birlikte birkaç kemoreseptör genine sahiptir (Krell et al., 2011). Bakteriyel kemoreseptörün ana işlevi, bakterinin konukçusunu bulmasına, bitki ile bakteri arasında güçlü ve faydalı bir karşılıklı ilişkinin kurulmasına yardımcı olmaktır (Webb et al., 2014; Yang et al., 2015). İlk kemotaksis çalışması *Escherichia coli* ve *Salmonella enterica* serovarı arasındaki etkileşim üzerine yapılmış ve daha sonra *B. subtilis* gibi gram pozitif bakterilerin çalışılmasıyla genişletilmiştir. *B. subtilis* genomunun ligand olarak bilinen amino asit, karbon ve oksijenden oluşan 10 kemoreseptör kodladığı bulunmuştur (Glekas et al., 2012). Yapılan bir çalışmada, *B. subtilis* tarafından kolonizasyon için gerekli kemotaksis sinyallerinin inokulasyondan 4 ila 8 saat sonra aktive olduğu ve bunun aynı zamanda *P. syringae* pv. *tomato* DC enfeksiyonuna karşı bitki savunma mekanizmalarının aktivasyonu için de gerekli zaman olduğu bildirilmiştir (Rudrappa et al., 2008). Daha önce yapılan bir başka çalışmada, pirinç bitkilerinden elde edilen eksudatların *Bacillus* spp'yi, soya fasulyesi kök eksudatlarının ise *Bacillus amyloliquefaciens*'i çektiğini ortaya koymuştur (Bacilio-Jiménez et al., 2003). Allard ve arkadaşları (2016) *Arabidopsis* kök eksudatlarının *B. subtilis*'i çekmede ve kök kolonizasyonunu artırmada önemli bir rol oynadığı saptanmıştır (Pandini et al., 2017). Ayrıca bakterilerin biyofilm oluşturma kapasitesinin, etkili kök kolonizasyonunu mümkün kıldığı belirtilmektedir (Compant et al., 2010). Bitki köklerinin *Bacillus* spp. tarafından kolonizasyonu, hücre duvarı polisakkaritleri (Beauregard et al., 2013) ve malik asit (Chen et al., 2012; Rudrappa et al., 2008) gibi bitki moleküllerinin varlığıyla indüklenen bir biyofilm oluşturmak için 24 saat gerekmektedir. Biyofilmler, kendiliğinden salgılanan bir matrisle kaplı çok hücreli bir bakteri topluluğundan oluşmaktadır (Beauregard et al., 2013). Kök kolonizasyonu ve biyofilm oluşumu, *B. velezensis*, *B. atropheus* ve *B. subtilis* gibi farklı *Bacillus* türlerinde bir biyokontrol mekanizması

olarak rapor edilmiştir (Pandın et al., 2017). Yapılan araştırmalarda *Bacillus* strainlerinin köklerde biyofilm oluşturmasının bitki patojenleri ile yer için rekabete ve hastalığın baskılanmasına katkıda bulunduğu vurgulanmıştır (Xu et al., 2019; Berlanga-Clavero et al., 2022).

Çeşitli bitkilerde en yaygın kök kolonizerleri olarak, *Pseudomonas* ve *Bacillus* spp. belirlenmiştir. Bu cislere ait strainlerin etkili kolonizasyon özelliğine sahip oldukları ve bitkilerde çok çeşitli patojenleri inhibe eden çeşitli metabolitler ürettikleri tespit edilmiştir (Rangarajan et al., 2003). *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens* ve *Pseudomonas stutzeri*' nin kök kolonizasyonunda sağladığı başarı ile salatalıkta *Phytophthora capsici*'nin gelişimini engellediği bulunmuştur (Islam et al., 2016).

KAYNAKÇA

- Abriouel, H., Franz, C. M., Omar, N. B. & Gálvez, A. (2011). Diversity and applications of *Bacillus* bacteriocins. *FEMS Microbiology Reviews*, 35(1): 201-232.
- Adimpong, D. B., Sørensen, K. I., Thorsen, L., Stuer-Lauridsen, B., Abdelgadir, W. S., Nielsen, D. S. ... & Jespersen, L. (2012). Antimicrobial susceptibility of *Bacillus* strains isolated from primary starters for African traditional bread production and characterization of the bacitracin operon and bacitracin biosynthesis. *Applied and Environmental Microbiology*, 78(22): 7903-7914.
- Ahkami, A. H., White III, R. A., Handakumbura, P. P. & Jansson, C. (2017). Rhizosphere engineering: enhancing sustainable plant ecosystem productivity. *Rhizosphere*, 3: 233-243.
- Ahmed, H. E., Mohamed, Z. K., ElDean, M. E. & Farahat, M. G. (2011). Induced systemic protection against tomato leaf spot (early leaf blight) and bacterial speck by rhizobacterial isolates. *J Exp Biol.*, 7(1): 49-57.
- Allard-Massicotte, R., Tessier, L., LÚcuyer, F., Lakshmanan, V., Lucier, J. F., Garneau, D. ... & Beauregard, P. B. (2016). *Bacillus subtilis* early colonization of *Arabidopsis thaliana* roots involves multiple chemotaxis receptors. *MBio.*, 7(6): 10-1128.
- Almoneafy, A. A., Kakar, K. U., Nawaz, Z., Li, B., Saand, M. A., Chun-lan, Y. & Xie, G. L. (2014). Tomato plant growth promotion and antibacterial related-mechanisms of four rhizobacterial *Bacillus* strains against *Ralstonia solanacearum*. *Symbiosis*, 63: 59-70.
- Ambrico, A. & Trupo, M. (2017). Efficacy of cell free supernatant from *Bacillus subtilis* ET-1, an Iturin A producer strain, on biocontrol of green and gray mold. *Postharvest Biology and Technology*, 134: 5-10.
- Arfaoui, A., El Hadrami, A., Mabrouk, Y., Sifi, B., Boudabous, A., El Hadrami, I. ... & Chérif, M. (2007). Treatment of chickpea with *Rhizobium* isolates enhances the expression of phenylpropanoid defense-related genes in response to infection by *Fusarium oxysporum* f.sp. *ciceris*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 45(6-7): 470-479.

- Asaka, O. & Shoda, M. (1996). Biocontrol of *Rhizoctonia solani* damping-off of tomato with *Bacillus subtilis* RB14. *Applied and Environmental Microbiology*, 62(11): 4081-4085.
- Bacilio-Jiménez, M., Aguilar-Flores, S., Ventura-Zapata, E., Pérez-Campos, E., Bouquelet, S. & Zenteno, E. (2003). Chemical characterization of root exudates from rice (*Oryza sativa*) and their effects on the chemotactic response of endophytic bacteria. *Plant and Soil*, 249: 271-277.
- Bais, H. P., Fall, R. & Vivanco, J. M. (2004). Biocontrol of *Bacillus subtilis* against infection of *Arabidopsis* roots by *Pseudomonas syringae* is facilitated by biofilm formation and surfactin production. *Plant Physiology*, 134(1): 307-319.
- Beneduzi, A., Ambrosini, A. & Passaglia, L. M. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): their potential as antagonists and biocontrol agents. *Genetics and molecular biology*, 35, 1044-1051.
- Beris, D., Theologidis, I., Skandalis, N., & Vassilakos, N. (2018). *Bacillus amyloliquefaciens* strain MBI600 induces salicylic acid dependent resistance in tomato plants against Tomato spotted wilt virus and Potato virus Y. *Scientific Reports*, 8(1): 10320.
- Berlanga-Clavero, M. V., Molina-Santiago, C., Caraballo-Rodríguez, A. M., Petras, D., Díaz-Martínez, L., Pérez-García, A. ... & Romero, D. (2022). *Bacillus subtilis* biofilm matrix components target seed oil bodies to promote growth and anti-fungal resistance in melon. *Nature Microbiology*, 7(7): 1001-1015.
- Burkhanova, G. F., Veselova, S. V., Sorokan', A. V., Blagova, D. K., Nuzhnaya, T. V. & Maksimov, I. V. (2017). Strains of *Bacillus* ssp. regulate wheat resistance to *Septoria nodorum* Berk. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 53: 346-352.
- Butt, H. & Bastas, K. K. (2022). Biochemical and molecular effectiveness of *Bacillus* spp. in disease suppression of horticultural crops. Seymen, M., Erdinc, C., Kurtar, E. S. & Kumar, A. (eds.).In: *Sustainable Horticulture*, p. 461-494.
- Caulier, S., Gillis, A., Colau, G., Licciardi, F., Liépin, M., Desoignies, N. ... & Bragard, C. (2018). Versatile antagonistic activities of soil-borne *Bacillus* spp. and *Pseudomonas* spp. against *Phytophthora infestans* and other potato pathogens. *Frontiers in Microbiology*, 9: 143.

- Caulier, S., Nannan, C., Gillis, A., Licciardi, F., Bragard, C. & Mahillon, J. (2019). Overview of the antimicrobial compounds produced by members of the *Bacillus subtilis* group. *Frontiers in Microbiology*, 10: 435128.
- Cawoy, H., Mariutto, M., Henry, G., Fisher, C., Vasilyeva, N., Thonart, P. ... & Ongena, M. (2014). Plant defense stimulation by natural isolates of *Bacillus* depends on efficient surfactin production. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 27(2): 87-100.
- Cawoy, H., Debois, D., Franzil, L., De Pauw, E., Thonart, P. & Ongena, M. (2015). Lipopeptides as main ingredients for inhibition of fungal phytopathogens by *Bacillus subtilis/amyloliquefaciens*. *Microbial Biotechnology*, 8(2): 281-295.
- Chen, X. H., Scholz, R., Borriss, M., Junge, H., Mögel, G., Kunz, S. & Borriss, R. (2009). Difficidin and bacilysin produced by plant-associated *Bacillus amyloliquefaciens* are efficient in controlling fire blight disease. *Journal of Biotechnology*, 140(1-2): 38-44.
- Chen, Y., Cao, S., Chai, Y., Clardy, J., Kolter, R., Guo, J. H. & Losick, R. (2012). A *Bacillus subtilis* sensor kinase involved in triggering biofilm formation on the roots of tomato plants. *Molecular Microbiology*, 85(3): 418-430.
- Choi, H. K., Song, G. C., Yi, H. S. & Ryu, C. M. (2014). Field evaluation of the bacterial volatile derivative 3-pentanol in priming for induced resistance in pepper. *Journal of Chemical Ecology*, 40: 882-892.
- Choudhary, D. K. & Johri, B. N. (2009). Interactions of *Bacillus* spp. and plants—with special reference to induced systemic resistance (ISR). *Microbiological Research*, 164(5): 493-513.
- Chowdappa, P., Kumar, S. M., Lakshmi, M. J. & Upreti, K. K. (2013). Growth stimulation and induction of systemic resistance in tomato against early and late blight by *Bacillus subtilis* OTPB1 or *Trichoderma harzianum* OTPB3. *Biological Control*, 65(1): 109-117.
- Colombo, C., Palumbo, G., He, J. Z., Pinton, R. & Cesco, S. (2014). Review on iron availability in soil: interaction of Fe minerals, plants, and microbes. *Journal of Soils and Sediments*, 14: 538-548.
- Compant, S., Clément, C. & Sessitsch, A. (2010). Plant growth-promoting bacteria in the rhizo-and endosphere of plants: their role, colonization, mechanisms

- involved and prospects for utilization. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(5): 669-678.
- Crombie, A. T., Larke-Mejia, N. L., Emery, H., Dawson, R., Pratscher, J., Murphy, G. P. ... & Murrell, J. C. (2018). Poplar phyllosphere harbors disparate isoprene-degrading bacteria. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(51): 13081-13086.
- Crouzet, J., Arguelles-Arias, A., Dhondt-Cordelier, S., Cordelier, S., Pršić, J., Hoff, G. ... & Dorey, S. (2020). Biosurfactants in plant protection against diseases: Rhamnolipids and lipopeptides case study. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8: 1014.
- Das, S. N., Dutta, S., Kondreddy, A., Chilukoti, N., Pullabhotla, S. V., Vadlamudi, S. & Podile, A. R. (2010). Plant growth-promoting chitinolytic *Paenibacillus elgii* responds positively to tobacco root exudates. *Journal of Plant Growth Regulation*, 29: 409-418.
- De Weert, S. & Bloemberg, G. V. (2007). Rhizosphere competence and the role of root colonization in biocontrol. Gnanamanickam, S. S. (eds.). In *Plant-Associated Bacteria*, p. 317-333.
- Debois, D., Fernandez, O., Franzil, L., Jourdan, E., De Brogniez, A., Willems, L. ... & Ongena, M. (2015). Plant polysaccharides initiate underground crosstalk with bacilli by inducing synthesis of the immunogenic lipopeptide surfactin. *Environmental Microbiology Reports*, 7(3): 570-582.
- Deleu, M., Lorent, J., Lins, L., Brasseur, R., Braun, N., El Kirat, K. ... & Mingeot-Leclercq, M. P. (2013). Effects of surfactin on membrane models displaying lipid phase separation. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes*, 1828(2): 801-815.
- Deng, Y., Wu, J. E., Tao, F. & Zhang, L. H. (2011). Listening to a new language: DSF-based quorum sensing in Gram-negative bacteria. *Chemical Reviews*, 111(1): 160-173.
- Dimopoulou, A., Theologidis, I., Benaki, D., Koukounia, M., Zervakou, A., Tzima, A. ... & Skandalis, N. (2021). Direct antibiotic activity of bacillibactin broadens the biocontrol range of *Bacillus amyloliquefaciens* MBI600. *Mosphere*, 6(4): 10-1128.

- Dong, Y., Gusti, A., Zhang, Q., Xu, J. & Zhang, L. (2002). Identification of quorum-quenching N-acyl homoserine lactonases from *Bacillus* species. *Applied and Environmental Microbiology*, 68: 1754–1759.
- Du, J., Li, Y., Mukhtar, I., Yin, Z., Dong, H., Wang, H. ... & Ding, X. (2021). Synergistically promoting plant health by harnessing synthetic microbial communities and prebiotics. *Iscience*, 24: 102918.
- Duffy, B., Schouten, A. & Raaijmakers, J. M. (2003). Pathogen self-defense: mechanisms to counteract microbial antagonism. *Annual Review of Phytopathology*, 41(1): 501-538.
- El-Saadony, M. T., Saad, A. M., Soliman, S. M., Ahmed, A. I., El-Tahan, A. M., El-Mageed, A. ... & AbuQamar, S. F. (2022). Plant growth-promoting microorganisms as biocontrol agents of plant diseases: Mechanisms, challenges and future perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 13: 923880.
- Etesami, H. & Alikhani, H. A. (2016). Rhizosphere and endorhiza of oilseed rape (*Brassica napus* L.) plant harbor bacteria with multifaceted beneficial effects. *Biological Control*, 94: 11-24.
- Etesami, H. & Maheshwari, D. K. (2018). Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: Action mechanisms and future prospects. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 156: 225-246. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.03.013>.
- Etesami, H., Jeong, B. R. & Glick, B. R. (2023). Biocontrol of plant diseases by *Bacillus* spp. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 126: 102048. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2023.102048>.
- Falardeau, J., Wise, C., Novitsky, L. & Avis, T. J. (2013). Ecological and mechanistic insights into the direct and indirect antimicrobial properties of *Bacillus subtilis* lipopeptides on plant pathogens. *Journal of Chemical Ecology*, 39: 869-878.
- Fan, H., Zhang, Z., Li, Y., Zhang, X., Duan, Y. & Wang, Q. I. (2017). Biocontrol of bacterial fruit blotch by *Bacillus subtilis* 9407 via surfactin-mediated antibacterial activity and colonization. *Frontiers in Microbiology*, 8: 1973.
- Fan, B., Wang, C., Song, X., Ding, X., Wu, L., Wu, H. ... & Borriss, R. (2018). *Bacillus velezensis* FZB42 in 2018: the gram-positive model strain for plant growth promotion and biocontrol. *Frontiers in Microbiology*, 9: 2491.

- Fan, X., Ye, T., Li, Q., Bhatt, P., Zhang, L. & Chen, S. (2020). Potential of a quorum quenching bacteria isolate *Ochrobactrum intermedium* D-2 against soft rot pathogen *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*. *Frontiers in Microbiology*, 11: 898.
- Ferraz, H. G. M., Resende, R. S., Silveira, P. R., Andrade, C. C. L., Milagres, E. A., Oliveira, J. R. & Rodrigues, F. D. Á. (2014). Rhizobacteria induces resistance against Fusarium wilt of tomato by increasing the activity of defense enzymes. *Bragantia*, 73: 274-283.
- Ferreira, C. M., Vilas-Boas, Â., Sousa, C. A., Soares, H. M. & Soares, E. V. (2019). Comparison of five bacterial strains producing siderophores with ability to chelate iron under alkaline conditions. *AMB Express*, 9(1):78.
- Fgaier, H. & Eberl, H. J. (2011). Antagonistic control of microbial pathogens under iron limitations by siderophore producing bacteria in a chemostat setup. *Journal of Theoretical Biology*, 273(1): 103-114.
- Fira, D., Dimkić, I., Berić, T., Lozo, J. & Stanković, S. (2018). Biological control of plant pathogens by *Bacillus* species. *Journal of Biotechnology*, 285: 44-55.
- Galaris, D., Barbouti, A. & Pantopoulos, K. (2019). Iron homeostasis and oxidative stress: An intimate relationship. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Cell Research*, 1866(12): 118535.
- Garge, S. S. & Nerurkar, A. S. (2016). Attenuation of quorum sensing regulated virulence of *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* through an AHL lactonase produced by *Lysinibacillus* sp. Gs50. *PloS One*, 11(12): e0167344.
- Garge, S.S. & Nerurkar, A.S. (2017). Evaluation of quorum quenching *Bacillus* spp. for their biocontrol traits against *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* causing soft rot. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 9: 48–57.
- Gélis-Jeanvoine, S., Canette, A., Gohar, M., Caradec, T., Lemy, C., Gominet, M. ... & Slamti, L. (2017). Genetic and functional analyses of krs, a locus encoding kurstakin, a lipopeptide produced by *Bacillus thuringiensis*. *Research in Microbiology*, 168(4): 356-368.
- Gerhardson, B. (2002). Biological substitutes for pesticides. *Trends in Biotechnology*, 20(8): 338-343.

- Ghavami, N., Alikhani, H. A., Pourbabaei, A. A. & Besharati, H. (2017). Effects of two new siderophore-producing rhizobacteria on growth and iron content of maize and canola plants. *Journal of Plant Nutrition*, 40(5): 736-746.
- Gilden, R. C., Huffling, K. & Sattler, B. (2010). Pesticides and health risks. *J. Obstet. Gynecol. Neonatal Nurs.*, 39: 103–110. doi: 10.1111/j.1552-6909.2009.01092.x.
- Giron, D., Frago, E., Glevarec, G., Pieterse, C. M. & Dicke, M. (2013). Cytokinins as key regulators in plant–microbe–insect interactions: connecting plant growth and defence. *Functional Ecology*, 27(3): 599-609.
- Glekas, G. D., Mulhern, B. J., Kroc, A., Duelfer, K. A., Lei, V., Rao, C. V. & Ordal, G. W. (2012). The *Bacillus subtilis* chemoreceptor McpC senses multiple ligands using two discrete mechanisms. *Journal of Biological Chemistry*, 287(47): 39412-39418.
- Glick, B. R., Cheng, Z., Czarny, J. & Duan, J. (2007). Promotion of plant growth by ACC deaminase-producing soil bacteria. In *New Perspectives And Approaches in Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Research*. Bakker, P. A. H. M., Raaijmakers, J. M., Bloemberg, G., Höfte, M., Lemanceau, P., Cooke, B. M. (eds.). p.329-339.
- Glick, B. R. (2012). Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. *Scientifica*, Volume 2012, Article ID 963401.
- Glick, B. R. & Gamalero, E. (2021). Recent developments in the study of plant microbiomes. *Microorganisms*, 9 (7): 1533. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9071533>.
- Gong, Q., Zhang, C., Lu, F., Zhao, H., Bie, X. & Lu, Z. (2014). Identification of bacillomycin D from *Bacillus subtilis* fmbJ and its inhibition effects against *Aspergillus flavus*. *Food Control*, 36(1): 8-14.
- Goswami, D., Thakker, J. N. & Dhandhukia, P. C. (2016). Portraying mechanics of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A Review. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1): 1127500.
- Gowtham, H. G., Murali, M., Singh, S. B., Lakshmeesha, T. R., Murthy, K. N., Amruthesh, K. N. & Niranjana, S. R. (2018). Plant growth promoting rhizobacteria-*Bacillus amyloliquefaciens* improves plant growth and induces

- resistance in chilli against anthracnose disease. *Biological Control*, 126: 209-217.
- Grady, E. N., MacDonald, J., Liu, L., Richman, A. & Yuan, Z. C. (2016). Current knowledge and perspectives of *Paenibacillus*: A Review. *Microbial Cell Factories*, 15: 1-18.
- Grandclément, C., Tannières, M., Moréra, S., Dessaux, Y. & Faure, D. (2016). Quorum quenching: role in nature and applied developments. *FEMS Microbiology Reviews*, 40(1): 86-116.
- Gu, Q., Yang, Y., Yuan, Q., Shi, G., Wu, L., Lou, Z. ... & Gao, X. (2017). Bacillomycin D produced by *Bacillus amyloliquefaciens* is involved in the antagonistic interaction with the plant-pathogenic fungus *Fusarium graminearum*. *Applied and Environmental Microbiology*, 83(19): e01075-17.
- Guleria, S., Walia, A., Chauhan, A. & Shirkot, C. K. (2016). Molecular characterization of alkaline protease of *Bacillus amyloliquefaciens* SP1 involved in biocontrol of *Fusarium oxysporum*. *International Journal of Food Microbiology*, 232: 134-143.
- Guo, Q., Dong, W., Li, S., Lu, X., Wang, P., Zhang, X. ... & Ma, P. (2014). Fengycin produced by *Bacillus subtilis* NCD-2 plays a major role in biocontrol of cotton seedling damping-off disease. *Microbiological Research*, 169(7-8): 533-540.
- Hakim, S., Naqqash, T., Nawaz, M. S., Laraib, I., Siddique, M. J., Zia, R. ... & Imran, A. (2021). Rhizosphere engineering with plant growth-promoting microorganisms for agriculture and ecological sustainability. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5: 617157.
- Hammami, I., Rhouma, A., Jaouadi, B., Rebai, A. & Nesme, X. (2009). Optimization and biochemical characterization of a bacteriocin from a newly isolated *Bacillus subtilis* strain 14B for biocontrol of *Agrobacterium* spp. strains. *Letters in Applied Microbiology*, 48(2): 253-260.
- Han, Q., Wu, F., Wang, X., Qi, H., Shi, L., Ren, A. ... & Tang, C. (2015). The bacterial lipopeptide iturins induce *Verticillium dahliae* cell death by affecting fungal signalling pathways and mediate plant defence responses involved in pathogen-associated molecular pattern-triggered immunity. *Environmental Microbiology*, 17(4): 1166-1188.

- Hanif, A., Zhang, F., Li, P., Li, C., Xu, Y., Zubair, M. ... & Gao, X. (2019). Fengycin produced by *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 inhibits *Fusarium graminearum* growth and mycotoxins biosynthesis. *Toxins*, 11(5): 295.
- Hassan, M. (2016). The Role of Pectin Utilization in Root Colonization and Plant Growth-Promotion by *Bacillus amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* (Bap). Master's Thesis, Auburn University, Auburn, ME, USA.
- Helman, Y. & Chernin, L. (2015). Silencing the mob: disrupting quorum sensing as a means to fight plant disease. *Molecular Plant Pathology*, 16(3): 316-329.
- Herpell, J. B., Schindler, F., Bejtović, M., Fragner, L., Diallo, B., Bellaire, A. ... & Weckwerth, W. (2020). The potato yam phyllosphere ectosymbiont *Paraburkholderia* sp. Msb3 is a potent growth promotor in tomato. *Frontiers in Microbiology*, 11: 525875.
- Hider, R. C. & Kong, X. (2010). Chemistry and biology of siderophores. *Natural Product Reports*, 27(5): 637-657.
- Howlader, P., Bose, S. K., Jia, X., Zhang, C., Wang, W. & Yin, H. (2020). Oligogalacturonides induce resistance in *Arabidopsis thaliana* by triggering salicylic acid and jasmonic acid pathways against Pst DC3000. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164: 4054-4064.
- Huma, N., Shankar, P., Kushwah, J., Bhushan, A., Joshi, J., Mukherjee, T. ... & Kalia, V. C. (2011). Diversity and polymorphism in AHL-lactonase gene (aiiA) of *Bacillus*. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 21(10): 1001-1011.
- Islam, S., Akanda, A. M., Prova, A., Islam, M. T. & Hossain, M. M. (2016). Isolation and identification of plant growth promoting rhizobacteria from cucumber rhizosphere and their effect on plant growth promotion and disease suppression. *Frontiers in Microbiology*, 6: 165532.
- Jadhav, H. P. & Sayyed, R. Z. (2016). Hydrolytic enzymes of rhizospheric microbes in crop protection. *MOJ Cell Sci Rep.*, 3(5): 135-136.
- Jain, S., Vaishnav, A., Kumari, S., Varma, A., Tuteja, N. & Choudhary, D. K. (2017). Chitinolytic *Bacillus*-mediated induction of jasmonic acid and defense-related proteins in *soybean* (*Glycine max* L. Merrill) plant against *Rhizoctonia solani* and *Fusarium oxysporum*. *Journal of Plant Growth Regulation*, 36: 200-214.

- Jayapala, N., Mallikarjunaiah, N. H., Puttaswamy, H., Gavirangappa, H. & Ramachandrappa, N. S. (2019). Rhizobacteria *Bacillus* spp. induce resistance against anthracnose disease in chili (*Capsicum annum* L.) through activating host defense response. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 29(1): 1-9.
- Jayaraj, J., Yi, H., Liang, G. H., Muthukrishnan, S. & Velazhahan, R. (2004). Foliar application of *Bacillus subtilis* AUBS1 reduces sheath blight and triggers defense mechanisms in rice. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz/Journal of Plant Diseases and Protection*, 111(2):115-125.
- Jayaraman, A. & Wood, T. K. (2008). Bacterial quorum sensing: signals, circuits, and implications for biofilms and disease. *Annu. Rev. Biomed. Eng.*, 10: 145-167.
- Jin, P., Wang, H., Tan, Z., Xuan, Z., Dahar, G. Y., Li, Q. X. ... & Liu, W. (2020). Antifungal mechanism of bacillomycin D from *Bacillus velezensis* HN-2 against *Colletotrichum gloeosporioides* Penz. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 163: 102-107.
- Jin, P., Wang, Y., Tan, Z., Liu, W. & Miao, W. (2020). Antibacterial activity and rice-induced resistance, mediated by C15 surfactin A, in controlling rice disease caused by *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 169: 104669.
- Jose, P. A., Krishnamoorthy, R., Kwon, S. W., Janahiraman, V., Senthilkumar, M., Gopal, N. O. ... & Anandham, R. (2019). Interference in quorum sensing and virulence of the phytopathogen *Pseudomonas syringae* pv. *passiflorae* by *Bacillus* and *Variovorax* species. *BioControl*, 64: 423-433.
- Joshi, J. R., Burdman, S., Lipsky, A., Yariv, S. & Yedidia, I. (2016). Plant phenolic acids affect the virulence of *Pectobacterium atroseolum* and *P. carotovorum* ssp. *brasiliense* via quorum sensing regulation. *Molecular Plant Pathology*, 17(4): 487-500.
- Kazan, K. & Manners, J. M. (2009). Linking development to defense: auxin in plant-pathogen interactions. *Trends in Plant Science*, 14(7): 373-382.
- Khan, N., Ali, S., Shahid, M. A., Mustafa, A., Sayyed, R. Z. & Curá, J. A. (2021). Insights into the interactions among roots, rhizosphere, and rhizobacteria for improving plant growth and tolerance to abiotic stresses: A review. *Cells*, 10(6): 1551.

- Krell, T., Lacal, J., Muñoz-Martínez, F., Reyes-Darias, J. A., Cadirci, B. H., García-Fontana, C. & Ramos, J. L. (2011). Diversity at its best: bacterial taxis. *Environmental Microbiology*, 13(5): 1115-1124.
- Kurek, E. & Jaroszuk-Ściseł, J. (2003). Rye (*Secale cereale*) growth promotion by *Pseudomonas fluorescens* strains and their interactions with *Fusarium culmorum* under various soil conditions. *Biological Control*, 26(1): 48-56.
- Kusajima, M., Shima, S., Fujita, M., Minamisawa, K., Che, F. S., Yamakawa, H. & Nakashita, H. (2018). Involvement of ethylene signaling in *Azospirillum* sp. B510-induced disease resistance in rice. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 82(9): 1522-1526.
- Lahlali, R., Ezrari, S., Radouane, N., Kenfaoui, J., Esmael, Q., El Hamss, H. ... & Barka, E. A. (2022). Biological control of plant pathogens: A global perspective. *Microorganisms*, 10(3): 596.
- Lajis, A. F. B. (2020). Biomanufacturing process for the production of bacteriocins from Bacillaceae family. *Bioresources and Bioprocessing*, 7: 1-26.
- LaSarre, B. & Federle, M. J. (2013). Exploiting quorum sensing to confuse bacterial pathogens. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 77(1): 73-111.
- Lee, B. D., Dutta, S., Ryu, H., Yoo, S. J., Suh, D. S. & Park, K. (2015). Induction of systemic resistance in *Panax ginseng* against *Phytophthora cactorum* by native *Bacillus amyloliquefaciens* HK34. *Journal of Ginseng Research*, 39(3): 213-220.
- Lee, G. H., & Ryu, C. M. (2016). Spraying of leaf-colonizing *Bacillus amyloliquefaciens* protects pepper from Cucumber mosaic virus. *Plant Disease*, 100(10), 2099-2105.
- Li, Y. H. & Tian, X. (2012). Quorum sensing and bacterial social interactions in biofilms. *Sensors*, 12(3): 2519-2538.
- Lim, J. A., Jee, S., Lee, D. H., Roh, E., Jung, K., Oh, C. & Heu, S. (2013). Biocontrol of *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* using bacteriophage PP1. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 23(8): 1147-1153.
- Liu, J., Zhou, T., He, D., Li, X. Z., Wu, H., Liu, W. & Gao, X. (2011). Functions of lipopeptides bacillomycin D and fengycin in antagonism of *Bacillus*

- amyloliquefaciens* C06 towards *Monilinia fruticicola*. Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology, 20(1): 43-52.
- Lucas, J. (2011). Advance in plant disease and pest management. J. Agric. Sci., 149: 91–114. doi: 10.1017/S0021859610000997.
- Lugtenberg, B. & Kamilova, F. (2009). Plant-growth-promoting rhizobacteria. Annual Review of Microbiology, 63: 541-556.
- Mahmoudi, E., Tabatabaei, B. E. S. & Venturi, V. (2011). Virulence attenuation of *Pectobacterium carotovorum* using N-acyl-homoserine lactone degrading bacteria isolated from potato rhizosphere. The Plant Pathology Journal, 27(3): 242-248.
- Mardanova, A. M., Hadieva, G. F., Lutfullin, M. T., Khilyas, I. V. E., Minnullina, L. F., Gilyazeva, A. G. ... & Sharipova, M. R. (2016). *Bacillus subtilis* strains with antifungal activity against the phytopathogenic fungi. Agricultural Sciences, 8(1): 1-20.
- Massoni, J., Bortfeld-Miller, M., Jardillier, L., Salazar, G., Sunagawa, S. & Vorholt, J. A. (2020). Consistent host and organ occupancy of phyllosphere bacteria in a community of wild herbaceous plant species. The ISME journal, 14(1): 245-258.
- Medeot, D. B., Fernandez, M., Morales, G. M. & Jofré, E. (2020). Fengycins from *Bacillus amyloliquefaciens* MEP218 exhibit antibacterial activity by producing alterations on the cell surface of the pathogens *Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria* and *Pseudomonas aeruginosa* PA01. Frontiers in Microbiology, 10: 497487.
- Melo, F. M. P. D., Fiore, M. F., Moraes, L. A. B. D., Silva-Stenico, M. E., Scramin, S., Teixeira, M. D. A. & Melo, I. S. D. (2009). Antifungal compound produced by the cassava endophyte *Bacillus pumilus* MAIIM4A. Scientia Agricola, 66: 583-592.
- Miao, G. P., Han, J., Wang, C. R., Zhang, K. G. & Wang, S. C. (2018). Growth inhibition and induction of systemic resistance against *Pythium aphanidermatum* by *Bacillus simplex* strain HS-2. Biocontrol Science and Technology, 28(12): 1114-1127.

- Mihalache, G., Balaes, T., Gostin, I., Stefan, M., Coutte, F. & Krier, F. (2018). Lipopeptides produced by *Bacillus subtilis* as new biocontrol products against fusariosis in ornamental plants. *Environmental Science and Pollution Research*, 25: 29784-29793.
- Miljaković, D., Marinković, J. & Balešević-Tubić, S. (2020). The significance of *Bacillus* spp. in disease suppression and growth promotion of field and vegetable crops. *Microorganisms*, 8(7): 1037.
- Mora, I., Cabrefiga, J. & Montesinos, E. (2015). Cyclic lipopeptide biosynthetic genes and products, and inhibitory activity of plant-associated *Bacillus* against phytopathogenic bacteria. *PLoS One*, 10(5): e0127738.
- Morales-Cedeno, L.R., Orozco-Mosqueda, M.D.C., Loeza-Lara, P.D., Parra-Cota, F.I., de Los Santos-Villalobos, S. & Santoyo, G. (2021). Plant growth-promoting bacterial endophytes as biocontrol agents of pre-and post-harvest diseases: fundamentals, methods of application and future perspectives. *Microbiological Research*, 242: 126612.
- Nakashita, H., Yasuda, M., Nitta, T., Asami, T., Fujioka, S., Arai, Y.... & Yoshida, S. (2003). Brassinosteroid functions in a broad range of disease resistance in tobacco and rice. *The Plant Journal*, 33(5): 887-898.
- Nandeeshkumar, P., Ramachandrakini, K., Prakash, H. S., Niranjana, S. R. & Shekar Shetty, H. (2008). Induction of resistance against downy mildew on sunflower by rhizobacteria. *Journal of Plant Interactions*, 3(4): 255-262.
- Nazari, M. & Smith, D. L. (2020). A PGPR-produced bacteriocin for sustainable agriculture: a review of thuricin 17 characteristics and applications. *Frontiers in Plant Science*, 11: 547681.
- Novick, R. P. & Geisinger, E. (2008). Quorum sensing in staphylococci. *Annual Review of Genetics*, 42: 541-564.
- Olanrewaju, O. S., Glick, B. R. & Babalola, O. O. (2017). Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33: 1-16.
- Ongena, M., Jacques, P., Touré, Y., Destain, J., Jabrane, A. & Thonart, P. (2005). Involvement of fengycin-type lipopeptides in the multifaceted biocontrol

- potential of *Bacillus subtilis*. Applied Microbiology and Biotechnology, 69: 29-38.
- Ongena, M., Jourdan, E., Adam, A., Paquot, M., Brans, A., Joris, B. ... & Thonart, P. (2007). Surfactin and fengycin lipopeptides of *Bacillus subtilis* as elicitors of induced systemic resistance in plants. Environmental Microbiology, 9(4): 1084-1090.
- Ongena, M. & Jacques, P. (2008). Bacillus lipopeptides: versatile weapons for plant disease biocontrol. Trends in microbiology, 16(3): 115-125.
- Paluch, E., Rewak-Soroczyńska, J., Jędrusik, I., Mazurkiewicz, E. & Jermakow, K. J. A. M. (2020). Prevention of biofilm formation by quorum quenching. Applied Microbiology and Biotechnology, 104: 1871-1881.
- Pandey, P., Irulappan, V., Bagavathiannan, M. V. & Senthil-Kumar, M. (2017). Impact of combined abiotic and biotic stresses on plant growth and avenues for crop improvement by exploiting physio-morphological traits. Frontiers in Plant Science, 8: 237767.
- Pandin, C., Le Coq, D., Canette, A., Aymerich, S. & Briandet, R. (2017). Should the biofilm mode of life be taken into consideration for microbial biocontrol agents?. Microbial Biotechnology, 10(4): 719-734.
- Passari, A. K., Lalsiamthari, P. C., Zothanpuia, Leo, V. V., Mishra, V. K., Yadav, M. K. ... & Singh, B. P. (2018). Biocontrol of Fusarium wilt of *Capsicum annuum* by rhizospheric bacteria isolated from turmeric endowed with plant growth promotion and disease suppression potential. European Journal of Plant Pathology, 150: 831-846.
- Peng, G., Zhao, X., Li, Y., Wang, R., Huang, Y. & Qi, G. (2019). Engineering *Bacillus velezensis* with high production of acetoin primes strong induced systemic resistance in *Arabidopsis thaliana*. Microbiological Research, 227: 126297.
- 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: 347-375.
- Pöllumaa, L., Alamäe, T. & Mäe, A. (2012). Quorum sensing and expression of virulence in pectobacteria. Sensors, 12(3): 3327-3349.

- Prazdnova, E. V., Gorovtsov, A. V., Vasilchenko, N. G., Kulikov, M. P., Statsenko, V. N., Bogdanova, A. A. ... & Chikindas, M. L. (2022). Quorum-sensing inhibition by Gram-positive bacteria. *Microorganisms*, 10(2): 350.
- Rady, M. M., Boriek, S. H., Abd El-Mageed, T. A., Seif El-Yazal, M. A., Ali, E. F., Hassan, F. A. & Abdelkhalik, A. (2021). Exogenous gibberellic acid or dilute bee honey boosts drought stress tolerance in *Vicia faba* by rebalancing osmoprotectants, antioxidants, nutrients, and phytohormones. *Plants*, 10(4): 748.
- Rais, A., Jabeen, Z., Shair, F., Hafeez, F. Y. & Hassan, M. N. (2017). *Bacillus* spp., a bio-control agent enhances the activity of antioxidant defense enzymes in rice against *Pyricularia oryzae*. *PloS one*, 12(11): e0187412.
- Rangarajan, S., Saleena, L. M., Vasudevan, P. & Nair, S. (2003). Biological suppression of rice diseases by *Pseudomonas* spp. under saline soil conditions. *Plant and soil*, 251: 73-82.
- Rasouli-Sadaghiani, M., Malakouti, M. J., Khavazi, K. & Miransari, M. (2014). Siderophore efficacy of fluorescent *Pseudomonades* affecting labeled iron (59 Fe) uptake by wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes differing in Fe efficiency. In: *Use of Microbes for the Alleviation of Soil Stresses*. Miransari, M. (eds.). *Alleviation of Soil Stress by PGPR and Mycorrhizal Fungi*, p.121-132.
- Raza, W., Ling, N., Zhang, R., Huang, Q., Xu, Y. & Shen, Q. (2017). Success evaluation of the biological control of Fusarium wilts of cucumber, banana, and tomato since 2000 and future research strategies. *Critical Reviews in Biotechnology*, 37: 202–212.
- Rehman, Z. U. & Leiknes, T. (2018). Quorum-quenching bacteria isolated from Red Sea sediments reduce biofilm formation by *Pseudomonas aeruginosa*. *Frontiers in Microbiology*, 9: 302767.
- Rudrappa, T., Czymmek, K. J., Paré, P. W. & Bais, H. P. (2008). Root-secreted malic acid recruits beneficial soil bacteria. *Plant Physiology*, 148(3): 1547-1556.
- Rudrappa, T., Biedrzycki, M. L., Kunjeti, S. G., Donofrio, N. M., Czymmek, K. J., Paul W, P. & Bais, H. P. (2010). The rhizobacterial elicitor acetoin induces systemic resistance in *Arabidopsis thaliana*. *Communicative & Integrative Biology*, 3(2): 130-138.

- Rutherford, S. T. & Bassler, B. L. (2012). Bacterial quorum sensing: its role in virulence and possibilities for its control. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*, 2(11): a012427.
- Ryu, C. M., Farag, M. A., Hu, C. H., Reddy, M. S., Kloepper, J. W. & Paré, P. W. (2004). Bacterial volatiles induce systemic resistance in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 134(3): 1017-1026.
- Sabaté, D. C., Brandan, C. P., Petroselli, G., Erra-Balsells, R. & Audisio, M. C. (2017). Decrease in the incidence of charcoal root rot in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by *Bacillus amyloliquefaciens* B14, a strain with PGPR properties. *Biological Control*, 113: 1-8.
- Sabaté, D. C., Brandan, C. P., Petroselli, G., Erra-Balsells, R. & Audisio, M. C. (2018). Biocontrol of *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary on common bean by native lipopeptide-producer *Bacillus* strains. *Microbiological research*, 211, 21-30.
- Saha, M., Sarkar, S., Sarkar, B., Sharma, B. K., Bhattacharjee, S. & Tribedi, P. (2016). Microbial siderophores and their potential applications: A Review. *Environmental Science and Pollution Research*, 23: 3984-3999.
- Saikia, K., Belwal, V. K., Datta, D. & Chaudhary, N. (2019). Aromatic-rich C-terminal region of LCI is a potent antimicrobial peptide in itself. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 519(2): 372-377.
- Salazar, F., Ortiz, A. & Sansinenea, E. (2017). Characterisation of two novel bacteriocin-like substances produced by *Bacillus amyloliquefaciens* ELI149 with broad-spectrum antimicrobial activity. *Journal of Global Antimicrobial Resistance*, 11: 177-182.
- Sansinenea, E. & Ortiz, A. (2011). Secondary metabolites of soil *Bacillus* spp. *Biotechnology Letters*, 33: 1523-1538.
- Santoyo, G., Orozco-Mosqueda, M.C. & Govindappa, M. (2012). Mechanisms of biocontrol and plant growth-promoting activity in soil bacterial species of *Bacillus* and *Pseudomonas*: A Review. *Biocon. Sci. Technol.*, 22: 855-872.
- Santoyo, G., Moreno-Hagelsieb, G., del Carmen Orozco-Mosqueda, M. & Glick, B. R. (2016). Plant growth-promoting bacterial endophytes. *Microbiological Research*, 183: 92-99.

- Scholz, R., Vater, J., Budiharjo, A., Wang, Z., He, Y., Dietel, K. ... & Borriss, R. (2014). Amylocyclicin, a novel circular bacteriocin produced by *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42. *Journal of Bacteriology*, 196(10): 1842-1852.
- Sharma, R. R., Singh, D. & Singh, R. (2009). Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables by microbial antagonists: A Review. *Biological Control*, 50(3): 205-221.
- Saxena, A. K., Kumar, M., Chakdar, H., Anuroopa, N. & Bagyaraj, D. J. (2020). *Bacillus* species in soil as a natural resource for plant health and nutrition. *Journal of Applied Microbiology*, 128(6): 1583-1594.
- Somers, E., Vanderleyden, J. & Srinivasan, M. (2004). Rhizosphere bacterial signalling: a love parade beneath our feet. *Critical Reviews in Microbiology*, 30(4): 205-240.
- Soni, R. & Keharia, H. (2021). Phytostimulation and biocontrol potential of Gram-positive endospore-forming Bacilli. *Planta*, 254: 49.
- Spaepen, S., Vanderleyden, J. & Remans, R. (2007). Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism-plant signaling. *FEMS Microbiology Reviews*, 31(4): 425-448.
- Stein, T. (2005). *Bacillus subtilis* antibiotics: structures, syntheses and specific functions. *Molecular Microbiology*, 56(4): 845-857.
- Subramaniam, N., & Sundaram, L. (2020). Siderophore producing *Pseudomonas* spp. isolated from rhizospheric soil and enhancing iron content in *Arachis hypogaea* L. plant. *International Journal of Agricultural Technology*, 16(2): 429-442.
- Tabassum, B., Khan, A., Tariq, M., Ramzan, M., Khan, M. S. I., Shahid, N. & Aaliya, K. (2017). Bottlenecks in commercialisation and future prospects of PGPR. *Applied Soil Ecology*, 121: 102-117.
- Tanaka, K., Amaki, Y., Ishihara, A. & Nakajima, H. (2015). Synergistic effects of [Ile7] surfactin homologues with bacillomycin D in suppression of gray mold disease by *Bacillus amyloliquefaciens* biocontrol strain SD-32. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(22): 5344-5353.
- Tao, Y., Bie, X. M., Lv, F. X., Zhao, H. Z. & Lu, Z. X. (2011). Antifungal activity and mechanism of fengycin in the presence and absence of commercial surfactin against *Rhizopus stolonifer*. *The Journal of Microbiology*, 49: 146-150.

- Tendulkar, S. R., Saikumari, Y. K., Patel, V., Raghotama, S., Munshi, T. K., Balaram, P. & Chattoo, B. B. (2007). Isolation, purification and characterization of an antifungal molecule produced by *Bacillus licheniformis* BC98, and its effect on phytopathogen *Magnaporthe grisea*. *Journal of Applied Microbiology*, 103(6): 2331-2339.
- Trapet, P., Avoscan, L., Klinguer, A., Pateyron, S., Citerne, S., Chervin, C., ... & Besson-Bard, A. (2016). The *Pseudomonas fluorescens* siderophore pyoverdine weakens *Arabidopsis thaliana* defense in favor of growth in iron-deficient conditions. *Plant Physiology*, 171(1): 675-693.
- Van der Ent, S., Verhagen, B. W., Van Doorn, R., Bakker, D., Verlaan, M. G., Pel, M. J. ... & Pieterse, C. M. (2008). MYB72 is required in early signaling steps of rhizobacteria-induced systemic resistance in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 146(3): 1293-1304.
- Vanthana, M., Nakkeeran, S., Malathi, V. G., Renukadevi, P. & Vinodkumar, S. (2019). Induction of in planta resistance by flagellin (Flg) and elongation factor-TU (EF-Tu) of *Bacillus amyloliquefaciens* (VB7) against groundnut bud necrosis virus in tomato. *Microbial Pathogenesis*, 137: 103757.
- Vero, S., Garmendia, G., Allori, E., Sanz, J. M., Gonda, M., Alconada, T. ... & Wisniewski, M. (2023). Microbial biopesticides: Diversity, scope, and mechanisms involved in plant disease control. *Diversity*, 15(3): 457.
- Villarreal-Delgado, M. F., Villa-Rodríguez, E. D., Cira-Chávez, L. A., Estrada-Alvarado, M. I., Parra-Cota, F. I. & Santos-Villalobos, S. D. L. (2018). The genus *Bacillus* as a biological control agent and its implications in the agricultural biosecurity. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 36(1): 95-130.
- Villegas-Escobar, V., González-Jaramillo, L. M., Ramírez, M., Moncada, R. N., Sierra-Zapata, L., Orduz, S. & Romero-Tabarez, M. (2018). Lipopeptides from *Bacillus* sp. EA-CB0959: active metabolites responsible for in vitro and in vivo control of *Ralstonia solanacearum*. *Biological control*, 125: 20-28.
- Vinale, F., Sivasithamparam, K., Ghisalberti, E. L., Marra, R., Woo, S. L. & Lorito, M. (2008). Trichoderma–plant–pathogen interactions. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(1): 1-10.

- Wan, Y., Stanovych, A., Gori, D., Zirah, S., Kouklovsky, C. & Alezra, V. (2018). β , γ -diamino acids as building blocks for new analogues of Gramicidin S: Synthesis and biological activity. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 149: 122-128.
- Wang, X., Wang, L., Wang, J., Jin, P., Liu, H. & Zheng, Y. (2014). *Bacillus cereus* AR156-induced resistance to *Colletotrichum acutatum* is associated with priming of defense responses in loquat fruit. *PLoS One*, 9(11): e112494.
- Wang, T., Liang, Y., Wu, M., Chen, Z., Lin, J. & Yang, L. (2015). Natural products from *Bacillus subtilis* with antimicrobial properties. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 23(4): 744-754.
- Wang, Y., Zhang, C., Liang, J., Wang, L., Gao, W., Jiang, J. & Chang, R. (2020). Surfactin and fengycin B extracted from *Bacillus pumilus* W-7 provide protection against potato late blight via distinct and synergistic mechanisms. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104: 7467-7481.
- Wang, R., Liang, X., Long, Z., Wang, X., Yang, L., Lu, B. & Gao, J. (2021). An LCI-like protein APC2 protects ginseng root from *Fusarium solani* infection. *Journal of Applied Microbiology*, 130(1): 165-178.
- Waqas, M., Khan, A. L., Hamayun, M., Shahzad, R., Kang, S. M., Kim, J. G. & Lee, I. J. (2015). Endophytic fungi promote plant growth and mitigate the adverse effects of stem rot: an example of *Penicillium citrinum* and *Aspergillus terreus*. *Journal of Plant Interactions*, 10(1): 280-287.
- Webb, B. A., Hildreth, S., Helm, R. F. & Scharf, B. E. (2014). Sinorhizobium meliloti chemoreceptor McpU mediates chemotaxis toward host plant exudates through direct proline sensing. *Applied and Environmental Microbiology*, 80(11): 3404-3415.
- Wei, Y., Perez, L. J., Ng, W. L., Semmelhack, M. F. & Bassler, B. L. (2011). Mechanism of *Vibrio cholerae* autoinducer-1 biosynthesis. *ACS Chemical Biology*, 6(4): 356-365.
- Wu, L., Huang, Z., Li, X., Ma, L., Gu, Q., Wu, H. ... & Gao, X. (2018)a. Stomatal closure and SA-, JA/ET-signaling pathways are essential for *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 to restrict leaf disease caused by *Phytophthora nicotianae* in *Nicotiana benthamiana*. *Frontiers in Microbiology*, 9: 847.

- Wu, G., Liu, Y., Xu, Y., Zhang, G., Shen, Q. & Zhang, R. (2018)b. Exploring elicitors of the beneficial rhizobacterium *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 to induce plant systemic resistance and their interactions with plant signaling pathways. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 31(5): 560-567.
- Xu, Z., Mandic-Mulec, I., Zhang, H., Liu, Y., Sun, X., Feng, H. ... & Zhang, R. (2019). Antibiotic bacillomycin D affects iron acquisition and biofilm formation in *Bacillus velezensis* through a Btr-mediated FeuABC-dependent pathway. *Cell Reports*, 29(5): 1192-1202.
- Yan, L., Zhu, J., Zhao, X., Shi, J., Jiang, C. & Shao, D. (2019). Beneficial effects of endophytic fungi colonization on plants. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103: 3327-3340.
- Yang, Y., M. Pollard, A., Höfler, C., Poschet, G., Wirtz, M., Hell, R. & Sourjik, V. (2015). Relation between chemotaxis and consumption of amino acids in bacteria. *Molecular Microbiology*, 96(6): 1272-1282.
- Yang, L., Han, X., Zhang, F., Goodwin, P. H., Yang, Y., Li, J. ... & Lu, C. (2018). Screening *Bacillus* species as biological control agents of *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* on wheat. *Biological Control*, 118: 1-9.
- Yang, S., Liu, H., Xie, P., Wen, T., Shen, Q. & Yuan, J. (2023). Emerging pathways for engineering the rhizosphere microbiome for optimal plant health. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(11): 4441-4449.
- Zamioudis, C. & Pieterse, C. M. (2012). Modulation of host immunity by beneficial microbes. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 25(2): 139-150.
- Zeriouh, H., Romero, D., García-Gutiérrez, L., Cazorla, F. M., de Vicente, A. & Pérez-García, A. (2011). The iturin-like lipopeptides are essential components in the biological control arsenal of *Bacillus subtilis* against bacterial diseases of cucurbits. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 24(12): 1540-1552.
- Zhang, B., Dong, C., Shang, Q., Han, Y., & Li, P. (2013). New insights into membrane-active action in plasma membrane of fungal hyphae by the lipopeptide antibiotic bacillomycin L. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes*, 1828(9): 2230-2237.
- Zhang, L. & Sun, C. (2018). Fengycins, cyclic lipopeptides from marine *Bacillus subtilis* strains, kill the plant-pathogenic fungus *Magnaporthe grisea* by

inducing reactive oxygen species production and chromatin condensation. *Applied and Environmental Microbiology*, 84(18): e00445-18.

Zou, J., Jiang, H., Cheng, H., Fang, J. & Huang, G. (2018). Strategies for screening, purification and characterization of bacteriocins. *International Journal of Biological Macromolecules*, 117: 781-789.

BÖLÜM 4

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN BİTKİ-VEKTÖR BÖCEK-VİRÜS ETKİLEŞİMLERİ ÜZERİNDEKİ POTANSİYEL ETKİLERİ

Zir. Yük. Müh. Sevgi COŞKAN¹
Dr. Öğretim Üyesi Serkan YEŞİL²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13767846>

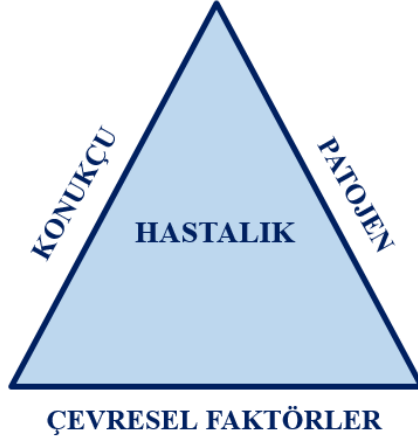
¹ Zirai Mücadele Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, sevgicoskan@gmail.com, Orcid ID: 0000-0002-3589-6041

² Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Konya, Türkiye, serkanyesil@selcuk.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-5033-0452

GİRİŞ

Bitki patojeni mikroorganizmalar, bitkisel üretimde önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bitki hastalıkları, özellikle ticari öneme sahip ürünlerde, hem ekonomik hem de sosyal açıdan ciddi sorunlara neden olabilir. Tarım endüstrisi için büyük bir tehdit oluşturan bitki patojenleri, her yıl ekonomik değeri yüksek ürünlerin veriminde %40'a varan kayıplara yol açmaktadır (Baldi ve La Porta, 2020; FAO, 2019; Savary vd., 2019). Bu hastalıklardan kaynaklanan kayıplar, tarımsal üretimde ciddi bir ekonomik yük oluşturmakta olup, yıllık küresel ürün kayıplarının değeri yaklaşık 220 milyar dolar olarak tahmin edilmektedir (FAO, 2019).

Fitopatolojinin temel yaklaşımına göre, bir hastalığın oluşabilmesi için duyarlı bir konukçu, virüent bir patojen ve uygun çevresel koşulların bir araya gelmesi gerekmektedir. Bu kavram "Hastalık Üçgeni" olarak isimlendirilir (Agrios, 2005) (Şekil 1). Tarih boyunca fitopatologlar, üçgenin konukçu ve patojen bileşenlerine daha fazla odaklanmışlardır; ancak, son yıllarda çevresel faktörlerin bitki hastalıklarının dinamikleri üzerindeki merkezi rolü giderek daha fazla kabul görmüştür (Amari vd., 2021; Garrett vd., 2006; Islam vd., 2020; Jones, 2016; Montes ve Pagán, 2022). Çevresel faktörler, özellikle iklim koşulları, hastalık üçgeninin üçüncü köşesine olan ilgiyi artırmıştır. İklim değişikliği konusundaki artan farkındalık, bu alanda yapılan akademik araştırmaların son yıllarda önemli ölçüde artmasına neden olmuştur (Montes ve Pagán, 2022).



Şekil 1: Hastalık üçgeni bileşenleri. Hastalığın ortaya çıkabilmesi için bu üç faktörün aynı anda ve aynı yerde bulunması gerekmektedir.

İklim değişikliği, atmosferik sera gazlarının artan konsantrasyonları, yükselen sıcaklıklar, yağış desenlerindeki değişiklikler ve artan ışık şiddeti gibi çeşitli faktörlerle karakterize edilen karmaşık bir olgudur. Son yüzyılda atmosferde artan sera gazı seviyeleri küresel ısınmaya neden olmuş olup, bu etkinin yakın gelecekte daha da şiddetleneceği tahmin edilmektedir. Daha sıcak bir dünyada daha istikrarsız iklim koşullarının bir sonucu olarak, Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), geniş coğrafi bölgeleri etkileyecek olan uzun süreli kuraklık dönemleri ve yüksek sıcaklıklar gibi aşırı hava olaylarının sıklığında ve şiddetinde bir artış öngörmektedir (IPCC, 2021).

İklim değişikliklerinin birçok biyolojik süreci etkileyebileceği göz önüne alındığında, organizmaların üreme başarısına ve kurdukları ekolojik ilişkilere önemli ölçüde etkisi olması beklenmektedir. Bu çerçevede, bitki-virüs-vektör etkileşimleri de bu değişikliklerden etkilenmektedir (Grimm vd., 2013; Jennings ve Harris, 2017; Jones, 2016; Montes ve Pagán, 2022; Trębicki, 2020; Vela'squez vd., 2018).

Birçok akademik çalışmalarda iklim değişikliğinin bitki patojenleri üzerindeki etkileri ele alınırken, bitki virüsleri üzerine

yapılan çalışmalar nispeten daha az yer bulmuştur. Araştırmalar genellikle iklim değişikliğinin bitki virüsleri üzerinde kritik bir rol oynadığını belirtmekle birlikte, bu etkilerin yönü ve büyüklüğü konusunda çelişkili bulgular sunmaktadır (Akbaş vd., 2021; Canto vd., 2009; Jones, 2016; Montes ve Pagán, 2022; Trębicki, 2020). Bu durum, iklim değişikliğinin bitki virüsleri için olumlu mu yoksa olumsuz mu olacağı sorusunu gündeme getirmektedir. Ayrıca, bitki-virüs-vektör etkileşimleri ve ekosistem içindeki etkileri bağlamında çok yönlü etkilerinin olup olmadığı da üzerinde durulması gereken bir konudur (Montes ve Pagán, 2022).

İklim değişikliğinin doğrudan virüs yaşam döngüsünü değiştiren veya dolaylı olarak konukçularının ve vektörlerinin biyolojisini etkileyen olumsuz etkileri, bitki virüsleri için büyük bir zorluk teşkil edebilir (Jones, 2016). Montes ve Pagán (2022) tarafından bitki-virüs-vektör etkileşimlerine dair bazı etkiler şu şekilde özetlenmiştir: İklim değişikliği, konukçu fizyolojisini virüs için uygun koşulları etkileyecek şekilde değiştirebilir. Örneğin, daha güçlü bitki savunmalarının uyarılması enfeksiyonu önleyebilir ve potansiyel olarak virüsün yok olmasına neden olabilir. Belirli iklim koşulları, bitkilerin vektörler için cezbediciliğini veya vektörün virüsü taşıma yeteneğini azaltabilir (Canto vd., 2009; Jones ve Barbetti, 2012). Ayrıca bitki virüsleri, konukçularına bağımlı oldukları için, ekosistemdeki değişiklikler onları dolaylı olarak etkileyebilir. İklim değişikliği, hassas bitki popülasyonlarının yerel veya küresel olarak azalmasına veya yok olmasına neden olabilir. Bu durum virüslerin yayılmasını ve hayatta kalmasını büyük ölçüde kısıtlayabilir. Özellikle dar bir konukçu aralığına sahip olan virüsler için bu etki önemlidir; çünkü bu virüsler, hassas konukçuların yokluğunda yok olma riski taşırlar (Jones, 2016). İklim değişikliği ayrıca konukçu bitkilerin ve vektörlerini tamamen yok etmese de biyolojilerinde önemli değişikliklere neden olabilir. Ayrıca, bitki ve vektörlerin yaşam döngülerini de etkileyerek popülasyon dinamiklerini uyumsuz hale

getirebilir. Bu durum, virüs enfeksiyonu dönemlerinin vektör varlığıyla örtüşmemesine ve yayılımının azalmasına veya hiç olmamasına yol açabilir (Canto vd., 2009). Örneğin, yüksek sıcaklıklar vektörlerin erken gelişimine neden olabilirken, erken çiçeklenme bitkilerin daha hızlı yaşlanmasına ve ölmesine sebep olabilir, bu da virüsün yayılma oranını düşürür (Culbreath ve Srinivasan, 2011).

İklim değişikliği, bitki virüslerinin yararına olacak şekilde yeni hastalıkların ortaya çıkmasına zemin hazırlayarak bitki ve ekosistem sağlığı için ciddi tehditler oluşturmaktadır (Akbaş vd., 2021; Şin vd., 2022). Bu nedenle, bu etkileri anlamak için önemli çabalar sarf edilmektedir. Örneğin matematiksel modelleme çalışmaları, küresel ısınma ile ilişkili iklim değişikliklerinin virüs hastalıklarının şiddetini, dağılımını ve yayılmasını artırabileceğini göstermektedir (Jeger vd., 2018; Jinarek vd., 2023; Lee vd., 2023). Beklenen potansiyel sonuçları arasında patojen virülensinin ve/veya konukçu duyarlılığının etkilenmesi yer alır. Örneğin daha yüksek sıcaklıkların bitkilerin bağışıklığını zayıflattığı, yükselen CO₂ seviyesinin ise patojen yoğunluğunun artmasına neden olduğu görülmüştür (Del Toro vd. 2017; Wang vd., 2009). Daha önce elverişsiz olan bölgelerde bitki patojenlerinin büyümesi için uygun koşullar yaratarak, patojenlerin dağılım alanlarını genişletebilir ve hastalıkların ortaya çıkmasına yol açabilir. Bu durum, vektör popülasyon dinamiklerini ve davranışlarını değiştirerek, vektörler aracılığıyla taşınan patojenlerin yayılmasını kolaylaştırır (Fones ve Gurr, 2017; Jamieson vd., 2017; Jones, 2016; Wu vd., 2020). Örneğin, kuvvetli rüzgarlar vektör dağılım alanını genişletebilir ve değişen sıcaklıklar vektörlerin daha önce kendileri için elverişsiz olan yerlere yerleşmesine izin verebilir (Kirchner vd., 2013).

Olumsuz etkiler açısından, konukçu bitkilerin ve vektörlerin ömrünü uzatabilir ve mevsimsel değişiklikler nedeniyle daha önce izole olan popülasyonların çakışmasına neden olur (Montes ve Pagan, 2022).

Bu durum, yeni vektörlerin daha fazla bulunmasına ve virüsün yayılma şansının artmasına yol açabilir (Anwar vd., 2022; Skendžić vd., 2021).

Sonuç olarak, iklim değişikliği bitki virüsleri üzerinde hem olumlu hem de olumsuz etkilere sahip olabilecek çift yönlü bir etkiye sahiptir. Bir yandan, virüslerin yayılma alanlarını genişletmek, taşınma oranlarını ve yaygınlıklarını artırmak için yeni fırsatlar yaratabilir. Diğer yandan ise, adaptasyon yeteneklerini zorlayarak virüslerin hayatta kalmasını tehlikeye atabilir. Bu bölümde, iklim değişikliğinin, bitki, virüs ve vektör etkileşimleri üzerindeki çeşitli etkilerini inceleyen araştırmaların özetlenmesi amaçlanmıştır.

1. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE BAĞLI ÇEVRESEL KOŞULLARIN BİTKİ-VİRÜS ETKİLEŞİMLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Abiyotik faktörlerin bitki-virüs etkileşimlerine en önemli etkisi, enfeksiyondan sonra hastalık gelişimini nasıl düzenledikleridir. Virüs varlığının patojenik etkileri, yetiştirilen bitkilerin verimi üzerinde güçlü bir olumsuz etkiye sahip olabilir. Bu nedenle, iklim değişiklikleri ile bitki virüsü enfektivitesi ve patojenitesi arasındaki etkileşimi inceleyen farklı çalışmalar yapılmıştır. Sıcaklık, ışık yoğunluğu, su mevcudiyeti, toprak verimliliği, rüzgâr hızları ve atmosferik ozon, metan ve CO₂ gibi çevresel koşullar hem belirti şiddetini hem de virüs çoğalmasını, ayrıca bu özellikler arasındaki ilişkiyi de değiştirebilir. Bunların arasında, bu yüzyılda iklimi muhtemelen değiştirecek ve etkileyecek en önemli üç faktör sıcaklık, CO₂ konsantrasyonu ve su mevcudiyetidir (Montes ve Pagan, 2022). Bu faktörlerin hastalık gelişimi üzerinde olumlu, nötr veya negatif etkilere sahip olduğu bilinmektedir (Akbaş vd., 2021). Bu nedenle, bu bölümde yalnızca bu üç çevresel faktöre değinilmektedir.

1.1. Yüksek Sıcaklık

Sıcaklıkların sürekli artışı, bitki virüs enfeksiyonlarını çeşitli şekillerde etkileyerek, küresel gıda güvenliği üzerinde önemli bir stres

faktörü olacağı öngörülmektedir (Mbow vd., 2019; Tsai vd., 2022). Bir bitki türünün gelişimi için gerekli olan uygun sıcaklığa ve coğrafi dağılımına bağlı olarak, yüksek sıcaklıklar bitki üretimi üzerinde negatif veya pozitif etkiler yaratabilir. Son yıllarda yapılan bir çalışmada, artan sıcaklıkların, insan beslenmesi için kritik öneme sahip on temel bitki türünün yetiştirildiği birçok bölgede bitki üretimini olumsuz etkilediği rapor edilmiştir (Ray vd., 2019). Yüksek sıcaklıklar, bitki verimliliğini doğrudan bitkilerin fizyolojik süreçlerine, gelişimlerine ve çoğalmalarına müdahale ederek ya da dolaylı olarak bitki hastalıklarının ilerlemesi ve vektörlerin biyolojisindeki değişiklikler yoluyla etkileyebilir (Tsai vd., 2022).

Sıcaklığın hastalık gelişimini ve virüs titresini etkilediği uzun bir süredir bilinmektedir (Johnson, 1921). Örneğin, *Tobacco mosaic virus* (TMV) ile enfekte olmuş tütün bitkileri 20°C'de benekli belirtiler geliştirirken, bu belirtiler 30°C'de hafiflemiş ve 36°C veya 10°C'de kaybolmuştur. Bu durum, hastalık belirtilerinin gelişimi için optimal sıcaklık aralığının, bitki büyümesi için ideal sıcaklıkla örtüştüğünü göstermektedir (Harrison, 1956; Yar Wood, 1952). Benzer şekilde, Aguilar vd. (2015), yüksek sıcaklığın *Nicotiana benthamiana* bitkisini enfekte eden *Plum pox virus* (PPV) ve *Potato virus X* (PVX) arasındaki etkileşim üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışma neticesinde, 30°C'de, 25°C'ye kıyasla her iki virüsün de titreleri ve virülansının belirgin şekilde azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, yüksek sıcaklıkların bazı virüslerin patojenitesini artırdığı ve belirtilerin daha hızlı gelişmesine yol açtığı da gözlemlenmiştir. Örneğin, *Turnip mosaic virus* (TuMV) Çin lahanasında daha yüksek sıcaklıklarda daha şiddetli belirtilere neden olmuştur (Chung vd., 2015).

Küresel sıcaklıkların artmaya devam etmesiyle birlikte, bitki virüs hastalıklarının kontrolü de gittikçe zorlaşmaktadır (Jones ve Naidu, 2019; Montes ve Pagan, 2022). Yüksek sıcaklıklarda bazı *Tomato spotted wilt virus* (TSWV) izolatlarının, biber bitkilerinde “*Tsw*”

dayanıklılık genini kırabildiği rapor edilmiştir (de Ronde vd., 2019). Ayrıca, yüksek sıcaklıklar, bitki virüslerinin taşınmasında rol oynayan eklem bacaklı vektörlerin coğrafi dağılımında değişikliklere yol açabilir (Tsai vd., 2022). Bu durum, viral epidemilerin hızlanmasına ve mevcut virüs hastalığı mücadele önlemlerinin etkisiz hale gelmesine neden olabilir (Jones, 2016). Bu nedenle, yüksek sıcaklıkların virüs epidemileri üzerindeki öngörülen etkileri, küresel ısınma senaryosu çerçevesinde bitki virüsü hastalıklarını etkili bir şekilde yönetebilmek için kapsamlı bir şekilde araştırılması gerekmektedir (Jones ve Naidu, 2019; Montes ve Pagan, 2022).

1.2. Artan CO₂ (eCO₂)

Sanayi devriminin başlangıcından bu yana dünya genelindeki veriler, atmosferik CO₂ konsantrasyonlarında dramatik bir artış olduğunu göstermektedir. Mevcut atmosferik CO₂ konsantrasyonu, esas olarak antropojenik etki nedeniyle 19. yüzyılın başında 285 ppm'den az olan seviyeyi aşarak 400 ppm eşiğini geçmiştir. Bunun gelecekteki iklim koşullarını nasıl etkileyeceği ise hala tartışma konusudur (Velásquez vd. 2018).

Artan CO₂'nin viral dinamikler üzerindeki etkilerine dair aslında sınırlı bilgi bulunmaktadır. Yapılan çalışmalara bakıldığında, bitkiler ve vektörler üzerindeki yüksek CO₂ kaynaklı etkilerin, bitki virüslerinin görülme sıklığını ve şiddetini değiştirdiğini, virüsle enfekte olmuş bitki biyokütlesini ve konukçu bitkideki virüs seviyelerinin arttığını göstermektedir (Moreno-Delafuente, 2021).

İklim değişikliğinin bir sonucu olarak artan CO₂ seviyelerinin bitki virüsü patojenitesi üzerindeki etkileri dikkat çekmektedir (Canto vd., 2009). eCO₂, bazı bitkilerde virüs belirtilerini hafiflettiği ve virüs titresini azalttığı görülmüştür (Montes ve Pagan, 2022). Örneğin, eCO₂, *N. benthamiana*'da *Potato virus X* (PVX) belirtilerini hafifletmiş ve bu durum virüs titresini daha düşük olmasıyla ilişkilendirilmiştir (Aguilar

vd., 2015). Ayrıca, eCO₂, tütün bitkisinde *Cucumber mosaic virus* (CMV) titresini azaltmış ve enfekte bitkilerde kalsiyum konsantrasyonunu artırmıştır (Guo vd. 2021). Bu değişiklikler, enfeksiyonun bitki biyokütlesi üzerindeki etkilerinin azalmasıyla ilişkilendirilmiştir (Montes ve Pagan, 2022).

Farklı çalışmalarda, eCO₂, tütünde *Potato virus Y* (PVY) ve hassas domateslerde *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV) belirtilerinin hafiflemesinde neden olmuştur (Guo vd., 2016; Ye vd., 2010). Bu çalışmalarda virüs titresini ölçülmemiş olmasına rağmen, domateslerde daha hafif virüs enfeksiyonu, salisilik asit (SA) sinyal yolunu güçlü aktivasyonu ile ilişkilendirilmiştir ve bu durum virüs miktarını azaltmıştır. Ancak, *Mi-1.2* genine sahip domateslerde eCO₂ TYLCV belirtilerini artırmış ve SA sinyal yolunu baskılamıştır (Guo vd., 2016).

Dikkate değer olarak, bu iki uç arasında orta düzeyde etkiler gösteren örnekler de mevcuttur. Örneğin, Trebicki vd. (2015), eCO₂'nin buğdayda *Barley yellow dwarf virus* (BYDV) titresini önemli ölçüde artırdığını, ancak bunun bitki büyümesi üzerinde hiçbir etkisi olmadığını göstermiştir. Araştırmacılar bu sonucu, eCO₂'nin bitki büyümesi ve gelişimi üzerindeki olumlu etkisinin, enfeksiyona tolerans sağlamasıyla açıklamışlardır. Genel olarak çalışmalarda, eCO₂'nin virüs çoğalmasında ve belirti şiddetini azalttığı, ancak etkilerin bitki ve virüs türüne göre değişebileceği vurgulanmaktadır (Montes ve Pagan, 2022).

Trebicki vd. (2016), virüs enfeksiyonunun eCO₂'nin bitkiler ve vektörler üzerindeki etkilerini değiştirebileceğini bildirmişlerdir. Çalışmada yüksek CO₂'nin, buğdayda BYDV ve Yaprakbiti vektörü *Rhopalosiphum padi* arasındaki üçlü biyotik etkileşimleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmanın sonuçları, BYDV enfeksiyonunun yüksek CO₂ altında yetişen buğday bitkilerinin toprak üstü azot içeriğini enfekte olmayan bitkilere kıyasla artırdığını ve bu durumun vektör performansını ve floem alımının azalttığını göstermiştir. Ayrıca, diğer çalışmalar yüksek CO₂ seviyelerinin, domates bitkilerinde TMV; tütün

bitkilerinde PVY ve CMV enfeksiyonlarına karşı dayanıklılık sağladığını bilimsel olarak kanıtlamıştır (Jones, 2016). Bu durum, bitki savunmalarının artan CO₂ konsantrasyonu altında virüslerden ziyade yaprakbitlerine yönelmesi nedeniyle gerçekleştiği düşünülmektedir (Dáder vd. 2016). Bu çalışmaların, eCO₂'nin bitki-virüs-vektör etkileşimlerinin sonucunu nasıl etkilediğini tam olarak anlamak için birleştirici bir çerçeve sunmamaktadır. Bu nedenle, eCO₂ seviyelerinin artışının bitki-virüs-vektör etkileşimlerine olan etkisini daha ayrıntılı şekilde incelemek gerekmekte olup, gelecekteki iklim değişikliği senaryoları altında yeni tarım yönetim stratejileri geliştirmek önem arz etmektedir (Montes ve Pagan, 2022; Sigh vd. 2023).

1.3. Su Mevcudiyeti

İklim değişikliğinin önemli etkilerinden biri de su mevcudiyetindeki değişikliklerdir. Kuraklık, dünya genelinde bitkisel üretim için büyük bir tehdit oluşturmakta ve küresel iklim değişikliği ile daha da artmaktadır. Yükselen ortalama sıcaklıklar, kurak yılların ve kuraklık olaylarının daha sık, daha şiddetli ve daha uzun süreli olmasına yol açacaktır (Diffenbaugh vd., 2015). Kuraklık, iklim değişikliğinin yol açtığı su kıtlığına neden olmakta ve bu durum bitki fizyolojisi üzerinde kapsamlı araştırmalara konu olmuştur. Ancak, kuraklığın bitkiler üzerindeki etkileri ve bitkilerin vektörler ve patojenlerle etkileşimleri sınırlı sayıda ve çelişkili çalışmalar olması nedeniyle henüz tam olarak anlaşılammıştır (Szczepanic ve Finke, 2019).

Bitkilerin abiyotik strese karşı verdikleri tepkiler, virüsler ve onların taşıyıcıları olan vektörler tarafından tetiklenen savunma mekanizmalarıyla kısmen örtüşen fizyolojik değişiklikleri içerir. Bu, bitkilerin hem çevresel streslere hem de patojenlere karşı benzer savunma yollarını kullandığını gösterir. İklim değişikliğinin bitkilerde vektör kaynaklı virüsler üzerindeki etkisini öngören birçok çalışma, virüslerin kendisi ve vektör popülasyon dinamikleri üzerindeki etkileri incelemiş ve bu virüslerin yayılma olasılıklarını değerlendirmiştir.

Çeşitli virüslerin, stresli çevresel koşullar altında konukçu bitkileriyle mutualistik ilişkiler kurabildiği gösterilmiştir. Xu vd. (2008) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, *Brome mosaic virus* (BMV), CMV ve TMV'nin tütün, pancar ve pirinç bitkilerini enfekte ederek su yoksunluğu nedeniyle ortaya çıkan kuraklık belirtilerini önemli ölçüde geciktirdiği rapor edilmiştir. Benzer şekilde, *Grapevine fanleaf virus* (GFLV) ile enfekte olmuş asmalarda da bu etki gözlemlenmiştir (Jež-Krebelj vd., 2022). Ayrıca, diğer çalışmalarda paralel sonuçlar elde edilmiş olup, *Tomato yellow leaf curl virus*'ün (TYLCV) domates bitkilerine hem termotolerans hem de kuraklığa karşı dayanıklılık sağladığı belirlenmiştir (Anfoka vd., 2016; Corrales-Gutierrez vd., 2020; Mishra vd., 2021; Shteinberg vd., 2021). Bununla birlikte, bazı durumlarda virüs enfeksiyonunun kuraklık toleransını azalttığı da gözlemlenmiş, yapılan bir çalışmada, *Arabidopsis thaliana* bitkisi *Cauliflower mosaic virus* (CaMV) veya TuMV ile enfekte olduğunda kuraklık toleransının azaldığı bildirilmiştir (Bergès vd., 2018; Manacorda vd., 2021).

González vd. (2021), stresli çevre koşulların viral enfeksiyon ve konukçu etkileşimi üzerindeki etkilerini inceleyerek, bir virüsün parazitlikten mutualizme geçerek hem bitki hem de virüs için faydalı bir ilişki geliştirebileceğini göstermiştir. Aguilar vd. (2017)'nin çalışmasında ise, en virüent enfeksiyonların kuraklığa toleransı daha etkili bir şekilde artırabildiğini, ancak orta seviyede virülense sahip enfeksiyonların, bitkinin yaşam döngüsünü tamamlamasına ve sağlıklı tohumlar üretmesine olanak sağlamıştır. Bu anlamda, viral kaynaklı artan toleransın her zaman tohum üretimi gibi artan biyolojik etkinlik ile sonuçlanacağı yönündeki genel varsayımın da yeniden gözden geçirilmesi gerekmektedir (Aguilar ve Lozano-Duran, 2022).

Van Munster vd. (2017) tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise kuraklığın CaMV ve TuMV enfeksiyonlarının yaprakbitleri aracılığıyla taşınma verimliliği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, su eksikliği

yaşayan bitkilerde CaMV taşınma oranının %34, TuMV taşınma oranının ise %100 arttığını göstermiştir. Artan taşınma oranı daha yüksek virüs yoğunluğu ile açıklanamamış olup, su eksikliğinin neden olduğu daha karmaşık bir sürecin varlığını düşündürmektedir. Bu bulgular, kuraklığa maruz kalan enfekte bitkilerin vektörler için daha iyi virüs kaynakları olduğunu ve viral epidemiyoloji üzerinde geniş kapsamlı sonuçlara sahip olabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, bitki-virüs-vektör sistemlerinin daha geniş bir yelpazede araştırılması gerekmektedir (Islam vd., 2019; Sarwar, 2020).

Diğer yandan, iklim değişikliği nedeniyle aşırı hava olaylarının artan sıklığı daha sık sel olaylarına neden olabilir (Brunner vd., 2021). Ancak, bildiğimiz kadarıyla, sel ve bitki virüsü enfeksiyonu arasındaki etkileşim üzerine yapılmış spesifik bir çalışma bulunmamaktadır. (Martínez-Arias vd. 2022; Montes ve Pagan, 2022).

2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ İLE İLİŞKİLİ ÇEVRESEL KOŞULLARIN VİRÜS-VEKTÖR BÖCEKLER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Hastalık Üçgeni yaklaşımına göre, vektör böcekler bitki virüs hastalıklarının epidemiyolojisinde merkezi bir rol oynar. Bu böceklerin popülasyon dinamikleri, konukçu ve virüsle olan etkileşimleri, çevresel faktörler tarafından şekillendirilebilir (Montes ve Pagán, 2022). Dolayısıyla bu bölümde, iklim değişikliğinin vektör böcekler üzerindeki farklı etkilerine ilişkin çalışmalardan bahsedilmektedir.

Bitki virüslerinin çoğunluğunun taşınması genellikle vektör böcekler aracılığıyla gerçekleşir ve bu süreç, yüzyılı aşkın süredir araştırılmaktadır (Takami, 1901). Vektörler, bitki virüslerinin taşınması ve yayılmasında kritik öneme sahiptir (Bosque-Pérez ve Eigenbrode, 2011), bu nedenle iklim koşullarındaki değişiklikler vektör böcekleri etkileyerek virüslerin dağılımı ve görülme sıklığı üzerinde önemli sonuçlar doğurmaktadır.

Erken dönem çalışmaları, zaman zaman çevresel faktörleri de içerecek şekilde, bitki-virüs-vektör üçlü sisteminin sonuçlarına odaklanmıştır. Birçok çalışma, bu üçlü sistem için taşınma oranını, vektörün virüsü edinmesi için optimal süreyi, en uygun inokülasyon zamanını ve virüsün edinimi ile inokülasyonu arasında gerekli olan latent dönemi niceliksel olarak belirlemiştir (Harris, 1983; Nault, 1997). Son yıllarda ise bitki virüsleri ve vektör böcekler ile bitki etkileşimleri hakkındaki bilgiler önemli ölçüde artmıştır (Mauck, 2016; Mauck vd., 2018; Zhou vd., 2018).

Bu gelişen bilgiler ışığında, bitki virüslerinin yaklaşık %80'inin, beyazsinekler, tripsler ve yaprakbitleri gibi *Hemiptera* ve *Thysanoptera* takımlarına ait vektör böcekler aracılığıyla taşındığı bilinmektedir (Hohn, 2007). *Hemiptera* ve *Thysanoptera* türleri dünya genelinde önemli tarımsal zararlılar arasında yer almakta olup, en yaygın vektörler arasında, virüslerin %30'unu taşıyan yaprakbitleri ve %20'sini taşıyan beyazsinekler bulunmaktadır. Bu iki vektör grubunun toplamda 500'den fazla bitki virüsü türünü taşıdığı rapor edilmiştir (Fereses ve Raccach, 2015; Lefeuvre vd., 2019; Montes ve Pagán, 2022).

Bitki virüsleri, vektör böcekler aracılığıyla çeşitli şekillerde taşınabilir. İlk olarak, persistent (kalıcı) taşınma şeklinde, virüsler böceğin dokularına alınır ve tutulur, tükürük bezlerine girer ve günler ile haftalar boyunca virüs bulaştırabilmesine neden olur. (Dietzgen vd., 2016; Hogenhout vd., 2008). İkinci olarak, semi-persistent (yarı kalıcı) taşınma şeklinde, virüs böceğin bağırsağında tutulur ve birkaç saat ile birkaç gün süren daha kısa bir enfeksiyon dönemine neden olur. Son olarak, non-persistent kalıcı olmayan taşınma şeklinde, virüs vektörün stiletinde tutulur ve böcek birkaç saniye ile dakika boyunca virüsü bünyesinde tutarak hızlıca iletir. Bu taşınma şekilleri, virüs-vektör ilişkilerinin anlaşılmasında kritik öneme sahiptir. Tablo 1, farklı taşınma şekillerinin tanımlarını, özelliklerini ve bu şekillere örnek teşkil eden

vektörleri özetlemektedir. Tablo 2’de ise vektör böceklerle taşınan önemli virüs grupları, taşınma şekilleri ve vektörleri listelenmiştir.

Taşınma Modu		Tanım	Özellikler	Örnek
1.Persistent (Kalıcı)	Circulative (Dolaşımli)	Virüs, vektör böcek tarafından uzun süre, genellikle böceğin yaşamı boyunca taşınır. Virüs böceğin bağırsaklarından geçerek hemolenfe girer ve tükürük bezlerine ulaşır.	Uzun edinim ve enokülasyon dönemleri içerir; virüs böcek içinde çoğalmaz ancak uzun süre enfektif kalır.	Yaprak bitleri (ör. <i>Myzus persicae</i>), beyazsinekler (ör. <i>Bemisia tabaci</i>).
	Propagative (Çoğalıcı)	Virüs, vektör böcek tarafından uzun süre, genellikle böceğin yaşamı boyunca taşınır. Virüs vektör böcek dokularında dolaşır ve çoğalır.	Virüs, vektör böcek dokularında çoğalarak viral yükü artırır ve taşınma süresini uzatır.	Tripsler (ör. <i>Frankliniella occidentalis</i>).
2.Semi-Persistent (Yarı-Kalıcı)		Virüs böceğin ön bağırsaklarında tutulur ve böceğin vücudunda orta süre kalır.	Orta süreli edinim ve inokülasyon; virüs ön bağırsakta tutulur ve çoğalmaz	Beyazsinekler (ör. <i>Trialeurodes vaporariorum</i>), bazı yaprak bitleri.
3.Non-Persistent (Kalıcı olmayan)		Virüs böcek tarafından hızlı bir şekilde alınıp iletilir ve böceğin vücudunda kısa süre kalır.	Hızlı edinim ve inokülasyon; virüs böceğin stiletinde taşınır ve uzun süre kalmaz.	Yaprak bitleri (ör. <i>Aphis gossypii</i>).

Tablo 2: Bitki virüsleri cins bazında vektörler ve taşınma şekilleri. Bu tablo küçük değişikliklerle Fereres ve Racciah (2015)'e atıfta bulunmaktadır.

Cins	Taşınma Modu	Vektör Böcek
<i>Alfamovirus</i>	NP	Yaprakbiti
<i>Badnavirus</i>	SP	<i>Cicadellidae</i> türleri, Unlu bit
<i>Begomovirus</i>	P	Beyazsinek
<i>Carlavirus</i>	NP	Yaprakbiti
<i>Caulimovirus</i>	NP	Yaprakbiti
<i>Closterovirus</i>	SP	Yaprakbiti, Unlu bit
<i>Comovirus</i>	SP	Kın kanatlılar
<i>Crinivirus</i>	SP	Beyazsinek
<i>Cucumovirus</i>	NP	Yaprakbiti
<i>Curtovirus</i>	P	<i>Cicadellidae</i> türleri
<i>Enamovirus</i>	P	Yaprakbiti
<i>Fabavirus</i>	NP	Yaprakbiti
<i>Ilarvirus</i>	P	Trips
<i>Ipomovirus</i>	SP	Beyazsinek
<i>Luteovirus</i>	P	Yaprakbiti
<i>Machlomovirus</i>	SP	<i>Cicadellidae</i> türleri
<i>Macluravirus</i>	NP	Yaprakbiti
<i>Mastreovirus</i>	P	<i>Cicadellidae</i> türleri
<i>Nanovirus</i>	P	Yaprakbiti
<i>Orthospovirus</i>	P	Trips
<i>Potyvirus</i>	NP	Yaprakbiti
<i>Sequivirus</i>	SP	Yaprakbiti
<i>Sobemovirus</i>	SP	Kın kanatlılar
<i>Torradovirus</i>	SP	Beyazsinek
<i>Tymovirus</i>	SP	Kın kanatlılar
<i>Waikavirus</i>	SP	<i>Cicadellidae</i> türleri

P: persistent, SP: semi-persistent; NP: non-persistent

Bitki virüslerinin taşınmasında önemli rol oynayan eklem bacaklılar, aynı zamanda iklim değişikliğinden doğrudan ve dolaylı olarak etkilenir. İklim değişikliğine bağlı artan sıcaklıklar, böceklerin fenolojisini hızlandırarak popülasyon dinamiklerini değiştirmektedir. Bu değişiklikler, böcekler ve onların konukçu bitkileri için uygun koşulların birçok coğrafi bölgede genişlemesi sonucunda daha erken ve uzun süreli kolonizasyonlara yol açmaktadır (Elad ve Pertot, 2014; Juroszek vd., 2019; Trębicki vd., 2016; Trębicki, 2020).

Genel olarak, ısırıcı- çiğneyici ağız yapısına sahip vektör böcekler, eCO₂ seviyeleri altında popülasyon boyutu açısından olumsuz etkilenecek veya beslenme oranlarını artırmak zorunda kalacaklardır. Bunun nedeni, bitki besin kalitesinin ortam koşullarına göre daha düşük olması ve bu durumun büyük ölçüde azot içeriğinin azalmasından kaynaklanmasıdır (Stiling ve Cornelissen, 2007; Trębicki, 2020). eCO₂ seviyeleri gelecekte beklenen değişikliklerin sadece bir parçası olduğundan, iklim değişikliğinin virüs vektörleri üzerindeki etkilerini incelemek için birleştirilmiş iklim faktörlerini içeren ayrıntılı çalışmalara ihtiyaç vardır. Son yıllarda, bazı önemli patosistemler için gelecekteki bitki virüsü epidemiyolojisini anlamamıza yardımcı olacak bilimsel ilerlemeler kaydedilmiştir. *R. padi* ve *Myzus persicae* iklim değişikliği bağlamında en çok incelenen virüs vektörleri olup, diğer yaprakbiti türleri, beyazsinekler ve tripslerde de araştırılmaktadır. Ancak, funguslar, nematodlar ve diğer eklem bacaklılar gibi virüs vektörleri ve vektör olmayan taşınma yolları yeterince incelenmemiş olup, daha fazla araştırma gerekmektedir (Trębicki, 2020).

2.1. Yaprakbitleri

Yaprakbitleri, Kuzey Yarımküre'nin ılıman bölgesinin en çeşitli vektörlerdir ve karmaşık bir yaşam döngüsüne sahiptirler. Yaz aylarında ikincil konukçularında partenogenez, kış aylarında ise birincil konukçularında eşeyli üreme yaparlar (Blackman ve Eastop, 2000; Trębicki, 2020). Ayrıca, genetik olarak aynı bireylerin kanatlı veya

kanatsız olarak farklı fenotipler gösterebilmesi anlamına gelen polifenizm özelliğine sahiptirler. Bu fenotiplerden kanatlı olanlar, bitki virüsü yayılımında ana rolü oynarlar (Braendle vd., 2006). Birçok çalışma, Yaprakbiti popülasyonlarında kanatlı bireylerin oluşumunu etkileyen çevresel koşulları incelemiştir (Montes ve Pagán, 2022). Yaprakbitlerinde kanatlı form üretimini türler arası etkileşimler, konukçu bitki kalitesi ve abiyotik faktörler teşvik eder. Bu faktörler, iklim değişikliği altında değişime uğrayabilir ve bu da virüs yayılımını etkileyebilir (Brisson, 2010; Zhou vd. 1995).

İklim değişikliğine bağlı yüksek sıcaklıkların ve eCO₂'nin yaprak bitleri popülasyonları ve bitki virüsü yayılımındaki rolleri üzerindeki etkileri üzerine kapsamlı araştırmalar yapılmıştır. Çeşitli çalışmalar, iklim değişikliğine bağlı olarak yaprakbitlerinin popülasyon dinamiklerinin ve davranışlarının nasıl etkilendiğine dair çeşitli bulgular sunmaktadır. Yükselen sıcaklıkların tahıl üretim alanlarında BYDV taşıyan yaprakbiti oranını artırdığı gözlenmiştir (Fabre vd., 2005). Benzer şekilde, yüksek sıcaklıkların brokoli ve marul üzerinde yaprakbitlerinin kanatlı popülasyon büyüklüğünü ve uçuş aktivitelerini artırdığı, bunun da bitki virüsü taşınımını olumlu yönde etkilediği belirtilmiştir (Diaz ve Fereres, 2005; Nebreda vd., 2004).

Su kıtlığına maruz kalan bitkilerde yaprakbitlerinin virüs bulaştırma oranının arttığı, ancak bu etkinin virüse özgü olabileceği belirtilmiştir (Montes ve Pagán, 2022). Örneğin, *Turnip yellows virus* (TuYV) ile enfekte olan bitkilerde yaprakbiti bulaştırma oranı su kıtlığı altında düşük bulunmuştur. Benzer sonuçlar *Soybean mosaic virus* (SMV) ile enfekte olmuş soya fasulyesi bitkilerinde de gözlenmiştir (Nachappa vd., 2016).

Yüksek CO₂ ve sıcaklık, enfekte olmayan buğdayın büyümesini, biyokütlesini ve karbon/azot oranını arttırmış, bu da yaprakbiti popülasyonunu azaltmıştır (Moreno-Delafuente vd., 2020; Trębicki vd., 2016). Ancak BYDV enfeksiyonu, buğdayın klorofil içeriğini ve

biyokütlesini azaltarak yaprakbiti popülasyonunu artırmıştır (Moreno-Delafuente vd., 2020). Benzer sonuçlar kavun bitkilerinde de gözlenmiştir (Moreno-Delafuente vd., 2021).

Farklı bitki-yaprakbiti kombinasyonları incelendiğinde ise türlere spesifik tepkiler verildiği rapor edilmiştir; *Myzus persicae* popülasyonu artarken, *Acyrtosiphon pisum* popülasyonu ise yükseltilmiş CO₂'ye maruz kaldığında azaldığı rapor edilmiştir (Hughes ve Bazzaz, 2001). Başka bir çalışmada ise, *Macrosiphum euphorbiae*, su kıtlığı ve sıcaklık dalgalardan etkilenmiş ve *Potato virus Y* (PVY) ve *Potato leafroll virus* (PLRV) yayma potansiyeli değişmiştir (Beetge ve Kruger, 2019). Bu bulgular, iklim değişikliği etkilerinin yalnızca vektöre, bitkiye veya virüse bağlı olmadığını, ancak çift veya üçlü etkileşimlerle belirlendiğini göstermektedir (Montes ve Pagán, 2022).

Gelecekte, yüksek CO₂ ve sıcaklık kombinasyonunun yaprakbitleri üzerindeki biyolojik etkilerinin, yaprakbiti zararını ve virüs yayılımını şiddetlendirebileceği öngörülmektedir (Xie vd., 2014). Sonuç olarak, iklim değişikliği faktörlerinin virüslerin bitki fenotipini ve/veya vektör davranışını değiştirerek yayılmalarını artırabileceği düşünülmektedir (Montes ve Pagán, 2022).

2.2. Beyazsinekler

Beyazsinekler ekonomik açıdan önemli birçok virüsün etkili vektörleri olmanın yanı sıra, beslenme süreçlerinde geniş bir konukçu yelpazesine sahip ciddi kayıplara neden olabilen önemli zararlılardır (Aregbesola vd., 2019; Mafongoya vd., 2019; Montes ve Pagán, 2022).

Beyazsineklerde, özellikle *Bemisia tabaci* ve *Trialeurodes vaporariorum* kısa nesil süreleri, yüksek üreme kapasiteleri ve hızlı yaşam döngüsü nedeniyle iklim değişikliklerine karşı oldukça duyarlıdırlar. Bu türler sıcak koşullarda iyi gelişirler, ancak *B. tabaci* soğuğa *T. vaporariorum* kadar dayanıklı değildir (Bonsinore, 2015). Kışların çok soğuk geçtiği bölgelerde, ortalama kış sıcaklıklarının

artması nedeniyle, *B. tabaci*'nin dağılımı da artmaktadır. Bu durum, eskiden daha serin olan bölgelerde yaygın olan *T. vaporariorum*'un yerini almasına neden olmaktadır. Artan sıcaklıkların *B. tabaci* üzerindeki etkileri farklı çalışmalarda incelenmiş, ancak *T. vaporariorum* ile ilgili çalışmalar buna karşın sınırlı kalmıştır (Jones, 2016).

İklim değişikliği, yüksek sıcaklıklar ve orta dereceli yağışlarla karakterize edilerek, *B. tabaci* popülasyonlarını sürekli olarak artmakta ve buna paralel olarak vektörlük yaptığı viral etmenlerinde yayılmasını arttırmaktadır (Kriticos vd., 2020; Sseruwagi vd., 2004). Çalışmalar ayrıca, eCO₂ seviyelerinin beyazsineklerin fertilitelerini ya artırdığını ya da üzerinde bir etkisi olmadığını göstermektedir (Cumutte vd., 2014; Peñalver-Cruz vd., 2020). Örneğin, Peñalver-Cruz vd. (2020) ve Roy vd. (2021) çalışmalarında, *B. tabaci*'nin TYLCV'yi farklı CO₂ seviyeleri ve sıcaklıklarda domates bitkilerine taşınma oranlarını incelemiştir. Sonuçlar, *B. tabaci*'nin virüsü CO₂ seviyelerinden bağımsız olarak aynı oranda taşıdığını ve 25°C'de 35°C'ye göre ise daha iyi taşıdığını göstermiştir.

Genellikle yapılan araştırmalar iklimsel stresin yaşam döngüsü özelliklerini olumsuz etkileme eğiliminde olduğunu, ancak bu etkilerin beyazsineklerin toleransına ve stres koşullarına göre farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Beyazsinekler adaptasyon yetenekleri bakımından da farklılık gösterir. Daha iyi adapte olmuş türler, dayanıklılık sınırları aşılmadığı sürece, yayılma ve sayılarında artış yaşayabilirken, daha düşük dayanıklılık ve adaptasyon yeteneğine sahip türler zayıflayacak ve bu da onların zamanla ve bölgede dağılımını olumsuz etkileyeceğini düşündürmektedir (Aregbesola vd., 2019). Örneğin Guo vd. (2013), *B. tabaci*'nin B biyotipinin 27°C, 31°C ve 35°C'de hayatta kalma, gelişim ve üreme özelliklerini incelemiştir. 27°C'de bu özellikler sabit kalırken, 31°C ve 35°C'de fertilitite ve hayatta kalma oranlarının azaldığını bildirmişlerdir. MaxEnt ve Global İklim

Modeli'ne dayanan, nem, sıcaklık ve CO₂ seviyelerini içeren dört farklı iklim senaryosu altında yapılan analizler, dünya genelinde daha fazla bölgenin açık alanda domates yetiştiriciliği için optimal koşullara sahip olacağını ve bu bölgelerde yüksek *B. tabaci* popülasyonları ile TYLCV enfeksiyonlarının artacağını öngörmektedir. Bu çalışmalar, iklim değişikliği koşullarının vektör popülasyonunu artırarak taşınma verimliliğini kaybetmeden virüs yaygınlığını artırabileceğini ortaya koymaktadır (Ramos vd. 2019).

2.3. Diğer vektörler

Cicadellidae türleri ve tripsler gibi diğer eklem bacaklılar da virüs vektörleridir ve bazıları büyük sosyoekonomik etkilere sahip olmasına rağmen, gelecekteki iklim ve hastalık epidemiyolojisi üzerindeki etkilerini açıklayan bir araştırma verisi eksikliği bulunmaktadır. (Gilbertson vd., 2015). Çevresel koşulların, bu vektörler aracılığıyla yayılan viral hastalıklar üzerindeki potansiyel etkisi üzerine yapılan çalışmalar, yaprakbitleri ve beyazsineklerle ilgili çalışmalara kıyasla çok daha azdır (Jones, 2016; Montes ve Pagán, 2022; Trębicki, 2020). Ancak bitki virüs epidemileri üzerinde iklim değişikliğinin sonuçlarını anlamak açısından bu çalışmalar yine de büyük önem taşımaktadır (Montes ve Pagán, 2022).

Cicadellidae türleri, yaprakbitleri ve beyazsineklerden sonra Hemipteran vektörler arasında en önemli üçüncü gruptur (Hogenhout vd., 2008). *Cicadellidae* türleri ve *Auchenorrhyncha* alt takımının diğer üyeleri, iklim değişikliklerinin doğrudan ve dolaylı etkileri açısından) tarafından araştırılmıştır (Masters vd. 1998). Artan yağışların hem bitki örtüsünde hem de *Auchenorrhyncha* popülasyonlarında artışa neden olduğu, kuraklığın ise bitki örtüsünde azalma görülmüş olmasına rağmen, *Auchenorrhyncha* popülasyonlarını etkilemediğini belirlenmişlerdir. Ancak Van Nieuwenhove vd. (2016) tarafından yapılan başka bir çalışmada *Dalbulus maidis*'in yumurtlamasının 15 ile 40°C arasında geniş bir sıcaklık aralığında gerçekleşebildiği, ancak

yüksek sıcaklıkların *Dalbulus maidis*'in fertilitasını azaltabileceği bildirilmiştir. Parizipour vd. (2018)'nin yapmış olduğu çalışmada ise, *Psammotettix alienus*'in ölüm oranlarının 35°C'de, 25°C'ye kıyasla daha yüksek olduğu ve *Wheat dwarf virus* (WDV) taşınma oranının en yüksek olduğu sıcaklığın ise 25°C olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular, küresel ısınmanın vektör popülasyonunu azaltarak ve WDV'yi taşıma yeteneğini düşürerek çift yönlü olumsuz bir etkisi olabileceğini göstermektedir. Bu durum, değişen iklim koşullarında WDV'nin epidemiyolojisi ve buğday mahsullerinin yönetimi için potansiyel sonuçlar doğurmaktadır (Montes ve Pagán, 2022).

Tripsler, Orthospoviruslar gibi oldukça zararlı virüslerin de vektörleridir (Rotenberg vd., 2015). *Orthospovirus* taşınma oranlarında trips ve *Orthospovirus* türleri arasında ve içinde farklılıklar gözlemlenir (Okuda vd., 2013) ve bu oranlar çevresel koşullardan etkilenir. En çok incelenen trips etkileşimi muhtemelen *F. occidentalis* ve oldukça tahripkar bir *Orthospovirus* türü olan *Tomato spotted wilt virus* (TSWV) arasındadır. *F. occidentalis*, 26-27°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda olumsuz etkilenir ve kısa süreli ısıya maruz kalma, yaşam süresi ve doğurganlığın azalmasına yol açar (Fatnassi vd., 2015; Li vd., 2014). İlginç bir şekilde TSWV'nin taşınması 29-30°C'de en yüksek seviyeye ulaşırken, enfekte tripslerin sıcaklık arttıkça hayatta kalma oranı yükselmektedir (Stumpf ve Kennedy, 2007). Bu nedenle, iklim değişikliği koşulları virüs yaygınlığını artırabilir. Chappell vd. (2013), daha sıcak kışların, önceki yazdan kalan daha fazla vektörün hayatta kalmasını sağlayarak TSWV oranını artıracaklarını öngörmüş ve bu öngörü, saha gözlemleriyle uyumlu bulunmuştur (Montes ve Pagán, 2022).

SONUÇ

Bitki virüsleri, bitkinin yaşam döngüsünde meydana gelen etkileşimlerde kritik bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, iklim

değişikliğinin neden olduğu çevresel değişkenler altında bitki-virüs-vektör etkileşimlerinden bahsedilmektedir.

İklim değişikliği, tarımsal üretim, verimlilik ve ürün kalitesi üzerinde büyük etkilere sahip olup, küresel gıda güvenliğini tehdit etmektedir. Artan sıcaklık ve CO₂ seviyeleri, su mevcudiyeti, bitki büyümesi ve kalitesi ile bitkiler, hastalıklar ve zararlılar arasındaki etkileşimleri önemli ölçüde etkiler. Bitki virüsleri, bu etkileşimlerin kritik bir parçası olarak gıda kalitesi ve verimi üzerinde yıkıcı etkilere neden olabilir.

Gelecekteki iklimin değişikliği seneryolarının tarımsal üretim üzerindeki etkileri konusunda artan endişelere rağmen, bitki virüslerin bu bağlamdaki önemi yeterince anlaşılmamıştır. Bugüne kadar, iklim değişikliğinin bitki virüsleri üzerindeki etkisini inceleyen çalışmaların çoğu, tek bir çevresel faktörün etkisine odaklanmış ve bu faktörlerin bitki virüslerine zararlı mı yoksa faydalı mı olduğunu net bir şekilde göstermemiştir. Ancak doğada birden fazla faktör aynı anda değişebilir. Çeşitli abiyotik streslerin etkilerini aynı anda inceleyen az sayıdaki çalışma, bu faktörlerin tek başlarına değerlendirilmesinin, virüs enfeksiyonları üzerindeki birleşik etkilerini tahmin etmeye yetmediğini açıkça göstermektedir.

Küresel iklim değişikliği ilerledikçe ve dünya nüfusu artmaya devam ettikçe, gıda üretimine ve doğal ekosistemlere yönelik tehdit nedeniyle geleceğin giderek daha karamsar hal alması, kültür ve yabani bitkilerdeki virüs epidemilerini kontrol etmenin giderek zorlaşmasından dolayı, bu olumsuz tablonun daha da kötüleşeceği tahmin edilmektedir. Ancak, dünyada hızla ilerleyen teknolojik yenilikler, virüs ve vektör kontrolünün etkinliğini artırma ve böylece iklim değişikliğinin bitki virüs epidemileri üzerindeki etkisini azaltma konusunda birçok fırsat sunma potansiyeline sahiptir. Bu yeniliklerin başarılı bir şekilde uygulanması, iklim değişikliğindeki istikrarsızlığının epidemiler

üzerindeki etkilerini nasıl aşılabileceğinin daha iyi anlaşılmasına büyük ölçüde bağlı olacaktır (Jones, 2016).

Çeşitli virüs türlerinin çevresel değişikliklere karşı yayılımını artıracak şekilde tepki verdiğinin sürekli olarak gözlemlenmesi, enfekte bitkilerin olumsuz çevresel koşullarında daha iyi hayatta kalabildiği ve virüs yayılımı için daha iyi kaynaklar haline geldiği bir durumu ortaya koymaktadır. Bu durum, daha fazla araştırma gerektirmektedir. Bitki-vektör böcek -virüs arasındaki belirgin etkileşim, iklim değişikliği senaryolarında virüs yayılımını modellemede dikkate alınması gereken bir risk olarak görülmektedir (van Munster, 2020).

Mevcut modeller, virüslerin taşınma dinamiklerini anlamamıza yardımcı olsa da, gerçek ekolojik etkileşimlerin karmaşıklığını yansıtmakta yetersiz kalmaktadır. Vektörlerin gerçekçi senaryolara tepkilerini incelemek ve modelleri iyileştirmek için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Tarımsal sistemlerde yapılacak gelecekteki çalışmaların, kontrollü koşullar sağlayarak modellemeleri geliştirmek için gerekli verileri sunabileceği ve aynı zamanda türler arasındaki etkileşimlerin doğal olarak ortaya çıkmasına olanak tanıyacağı düşünülmektedir (Lee vd., 2023).

Özetle, iklim değişikliği bitki virüsleri için bir zorluk oluşturduğu düşünülse de, birçok açıdan hastalıkların ortaya çıkması için yeni fırsatlar sağlayacak ve etkili kontrol stratejilerine olan ihtiyacı artıracaktır. İklim değişikliğinin bitki virüs epidemileri üzerindeki sonuçlarına dair anlayışın son yıllarda ivme kazanması bu ihtiyacı karşılayacak hızlı teknolojik gelişmeleri mümkün kılacaktır (Montes ve Pagán, 2022). Son teknolojiler, araştırmacıların bitki virüs hastalıkları salgınlarının öngörü modellerini geliştirmelerine yardımcı olmaktadır. Geleneksel yöntemlerle birleştirildiğinde, metagenomik gibi yeni teknolojilerin esnek ve akıllı kullanımı, karmaşık bitki-virüs-vektör etkileşimlerinin daha iyi anlaşılması ve yönetim stratejilerine katkı sağlanmasının mümkün olabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Agrios, G. N. (2005). Plant pathology. Fifth ed. Elsevier, Amsterdam.
- Akbaş, B., Morca, A. F., & Coşkan, S. (2021). İklim Değişikliğinin Tahıl Virüs Hastalıkları Üzerine Etkisi. *Ziraat Mühendisliği*, (374), 4-14.
- Aguilar, E., Allende, L., Del Toro, F. J., Chung, B. N., Canto, T., & Tenllado, F. (2015). Effects of elevated CO₂ and temperature on pathogenicity determinants and virulence of Potato virus X/Potyvirus-associated synergism. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 28(12), 1364-1373.
- Aguilar, E., Cutrona, C., Del Toro, F. J., Vallarino, J. G., Osorio, S., Pérez-Bueno, M. L., ... & Tenllado, F. (2017). Virulence determines beneficial trade-offs in the response of virus-infected plants to drought via induction of salicylic acid. *Plant, Cell & Environment*, 40(12), 2909-2930.
- Aguilar, E., & Lozano-Duran, R. (2022). Plant viruses as probes to engineer tolerance to abiotic stress in crops. *Stress Biology*, 2(1), 20.
- Amari, K., Huang, C., & Heinlein, M. (2021). Potential impact of global warming on virus propagation in infected plants and agricultural productivity. *Frontiers in plant science*, 12, 649768.
- Anfoka, G., Moshe, A., Fridman, L., Amrani, L., Rotem, O. R., Kolot, M., ... & Gorovits, R. (2016). Tomato yellow leaf curl virus infection mitigates the heat stress response of plants grown at high temperatures. *Scientific Reports*, 6(1), 19715.
- Anwar, N., Ahmad, I., Raja, M. A. Z., Naz, S., Shoaib, M., & Kiani, A. K. (2022). Artificial intelligence knacks-based stochastic paradigm to study the dynamics of plant virus propagation model with impact of seasonality and delays. *The European Physical Journal Plus*, 137(1), 144.
- Aregbesola, O.Z., Legg, J.P., Sigsgaard, L., Lund, O.S., Rapisarda, C. (2019). Potential impact of climate change on whiteflies and implications for the spread of vectored viruses. *J. Pest Sci.* 92, 381–392.
- Baldi, P., and La Porta, N. (2020). Molecular approaches for low-cost point-of-care pathogen detection in agriculture and forestry. *Front. Plant Sci.* 11: 570862.

- Beetge, L., Kruger, K. (2019). Drought and heat waves associated with climate change affect performance of the potato aphid *Macrosiphum euphorbiae*. *Sci Rep* 9(1), 3645.
- Berge`s, S.E. & Vile, D., Vazquez-Rovere, C., Blanc, S., Yvon, M., Bediee, A., Rolland, G., Dautat, M., van Munster, M. (2018). Interactions between drought and plant genotype change epidemiological traits of Cauliflower mosaic virus. *Front. Plant Sci.* 9, 703.
- Berge`s, S.E., Vile, D., Yvon, M., Masclef, D., Dautat, M., & van Munster, M. (2021). Water deficit changes the relationships between epidemiological traits of Cauliflower mosaic virus across diverse *Arabidopsis thaliana* accessions. *Sci. Rep.* 11, 24103.
- Blackman, R.L. & Eastop, V.F. (2000). *Aphids on the world's crops: An identification and information guide.* John Wiley & Sons.
- Bonsignore, C. P. (2015). Effect of environmental factors on the flight activity of *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) under greenhouse conditions. *Entomological Science*, 18(2), 207-216.
- Bosque-Pérez, N.A. & Eigenbrode, S.D. (2011). The influence of virus-induced changes in plants on aphid vectors: insights from luteovirus pathosystems. *Virus Research* 159(2), 201-205.
- Braendle, C., Davis, G.K., Brisson, J.A. & Stern, D.L. (2006). Wing dimorphism in aphids. *Heredity* 97, 192–199.
- Brisson, J.A. (2010). Aphid wing dimorphisms: linking environmental and genetic control of trait variation. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 365, 605–616.
- Brunner, M. I., Swain, D. L., Wood, R. R., Willkofer, F., Done, J. M., Gilleland, E., & Ludwig, R. (2021). An extremeness threshold determines the regional response of floods to changes in rainfall extremes. *Communications Earth & Environment*, 2(1), 173.
- Chappell, T.M., Beaudoin, A.L.P., & Kennedy, G.G. (2013). Interacting virus abundance and transmission intensity underlie Tomato spotted wilt virus incidence: an example weather-based model for cultivated tobacco. *PLoS One* 8, e73321.

- Chung, B. N., San Choi, K., Ahn, J. J., Joa, J. H., Do, K. S., & Park, K. S. (2015). Effects of temperature on systemic infection and symptom expression of Turnip mosaic virus in Chinese cabbage (*Brassica campestris*). *The plant pathology journal*, 31(4), 363.
- Corrales-Gutierrez, M., Medina-Puche, L., Yu, Y., Wang, L., Ding, X., Luna, A. P., ... & Lozano-Duran, R. (2020). The C4 protein from the geminivirus Tomato yellow leaf curl virus confers drought tolerance in Arabidopsis through an ABA-independent mechanism. *Plant Biotechnology Journal*, 18(5), 1121.
- Culbreath, A. K., & Srinivasan, R. (2011). Epidemiology of spotted wilt disease of peanut caused by Tomato spotted wilt virus in the southeastern US. *Virus research*, 159(2), 101-109.
- Curnutte, L. B., Simmons, A. M., & Abd-Rabou, S. (2014). Climate change and *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae): impacts of temperature and carbon dioxide on life history. *Annals of the Entomological Society of America*, 107(5), 933-943.
- Dáder, B., Fereres, A., Moreno, A., & Trębicki, P. (2016). Elevated CO₂ impacts bell pepper growth with consequences to *Myzus persicae* life history, feeding behaviour and virus transmission ability. *Scientific reports*, 6(1), 19120.
- de Ronde, D., Butterbach, P., & Kormelink, R. (2014). Dominant resistance against plant viruses. *Frontiers in plant science*, 5, 307.
- Del Toro, F. J., Rakhshandehroo, F., Larruy, B., Aguilar, E., Tenllado, F., & Canto, T. (2017). Effects of simultaneously elevated temperature and CO₂ levels on *Nicotiana benthamiana* and its infection by different positive-sense RNA viruses are cumulative and virus type-specific. *Virology*, 511, 184-192.
- Diaz, B.M. & Fereres, A. (2005). Life table and population parameters of *Nasonovia ribisnigri* (Homoptera: Aphididae) at different constant temperatures. *Environ. Entomol.* 34, 527–534.
- Dietzgen, R. G., Mann, K. S., & Johnson, K. N. (2016). Plant virus–insect vector interactions: Current and potential future research directions. *Viruses*, 8(11), 303.

- Diffenbaugh, N. S., Swain, D. L., & Touma, D. (2015). Anthropogenic warming has increased drought risk in California. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(13), 3931-3936.
- Elad, Y. & Pertot, I. (2014). Climate change impacts on plant pathogens and plant diseases. *Journal of Crop Improvement* 28(1), 99-139.
- FAO. (2019). New standards to curb the global spread of plant pests and diseases. Available at: <https://www.fao.org/news/story/en/item/1187738/icode/>.
- Fabre, F., Plantegenest, M., Mieuzet, L., Dedryver, C.A., Leterrier, J.-L. & Jacquot, E. (2005). Effects of climate and land use on the occurrence of viruliferous aphids and the epidemiology of barley yellow dwarf disease. *Agric. Ecosyst. Environ.* 106, 49–55.
- Fereres, A. (2015). Insect vectors as drivers of plant virus emergence. *Current opinion in virology* (10), 42-46.
- Fereres, A., & Moreno, A. (2009). Behavioural aspects influencing plant virus transmission by homopteran insects. *Virus research*, 141(2), 158-168.
- Fereres, A. & Raccah, B., 2015. Plant Virus Transmission by Insects. *Encyclopedia of Life Sciences*. Wiley. <http://doi.org/10.1002/9780470015902.a0000760.pub3>.
- Fones, H. N., & Gurr, S. J. (2017). NOxious gases and the unpredictability of emerging plant pathogens under climate change. *BMC biology*, 15, 1-9.
- Gilbertson, R. L., Batuman, O., Webster, C. G., & Adkins, S. (2015). Role of the insect supervectors *Bemisia tabaci* and *Frankliniella occidentalis* in the emergence and global spread of plant viruses. *Annual review of virology*, 2(1), 67-93. <https://doi.org/10.1146/annurev-virology-031413-085410>
- González, R., Butković, A., & Elena, S. F. (2020). From foes to friends: Viral infections expand the limits of host phenotypic plasticity. *Advances in Virus Research*, 106, 85-121.
- González, R., Butković, A., Escaray, F. J., Martínez-Latorre, J., Melero, Í., Pérez-Parets, E., ... & Elena, S. F. (2021). Plant virus evolution under strong drought conditions results in a transition from parasitism to mutualism. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(6), e2020990118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2020990118>.

- Guo, J. Y., Cong, L., & Wan, F. H. (2013). Multiple generation effects of high temperature on the development and fecundity of *Bemisia tabaci* (Gennadius)(Hemiptera: Aleyrodidae) biotype B. *Insect science*, 20(4), 541-549.
- Guo, H., Huang, L., Sun, Y., Guo, H., & Ge, F. (2016). The contrasting effects of elevated CO₂ on TYLCV infection of tomato genotypes with and without the resistance gene, Mi-1.2. *Frontiers in plant science*, 7, 1680.
- Guo, H., Ge, P., Tong, J., Zhang, Y., Peng, X., Zhao, Z., ... & Sun, Y. (2020). Elevated carbon dioxide levels decreases cucumber mosaic virus accumulation in correlation with greater accumulation of rgs-CaM, an inhibitor of a viral suppressor of RNAi. *Plants*, 10(1), 59.
- Harris, K. F. (1983). Sternorrhynchous vectors of plant viruses: virus-vector interactions and transmission mechanisms. *Advances in Virus Research*, 28, 113-140.
- Harrison, B. D. (1956). A Strain of Tobacco Mosaic Virus Infecting *Plantago* Spp. In Scotland. *Plant Pathology*, 5(4).
- Hogenhout, S. A., Ammar, E. D., Whitfield, A. E., & Redinbaugh, M. G. (2008). Insect vector interactions with persistently transmitted viruses. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 46(1), 327-359.
- Hohn, T. (2007). Plant virus transmission from the insect point of view. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(46), 17905-17906.
- Hughes, L., & Bazzaz, F. A. (2001). Effects of elevated CO₂ on five plant-aphid interactions. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 99(1), 87-96.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (2021). Climate change 2021: the physical science basis. The Working Group I contribution to the Sixth Assessment. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/>
- Islam, W., Noman, A., Naveed, H., Alamri, S. A., Hashem, M., Huang, Z., & Chen, H. Y. (2020). Plant-insect vector-virus interactions under environmental change. *Science of the Total Environment*, 701, 135044. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135044>.

- Jeger, M. J., Madden, L. V., & Van Den Bosch, F. (2018). Plant virus epidemiology: Applications and prospects for mathematical modeling and analysis to improve understanding and disease control. *Plant disease*, 102(5), 837-854. <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-17-0612-FE>.
- Jamieson, M. A., Burkle, L. A., Manson, J. S., Runyon, J. B., Trowbridge, A. M., & Zientek, J. (2017). Global change effects on plant–insect interactions: the role of phytochemistry. *Current opinion in insect science*, 23, 70-80.
- Jež-Krebelj, A., Rupnik-Cigoj, M., Stele, M., Chersicola, M., Pompe-Novak, M., & Sivilotti, P. (2022). The physiological impact of GFLV virus infection on grapevine water status: first observations. *Plants*, 11(2), 161.
- Jiraneck, J., Miller, I. F., An, R., Bruns, E., & Metcalf, C. J. E. (2023). Mechanistic models to meet the challenge of climate change in plant–pathogen systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 378(1873), 20220017. <https://doi.org/10.1098/rstb.2022.0017>.
- Johnson, J. (1921). The relation of air temperature to certain plant diseases. *Phytopathology*, 11:446–458
- Jones, R. A. C. (2016). Future scenarios for plant virus pathogens as climate change progresses. *Advances in virus research*, 95, 87-147.
- Jones, R. A., & Naidu, R. A. (2019). Global dimensions of plant virus diseases: current status and future perspectives. *Annual review of virology*, 6(1), 387-409.
- Juroszek, P., Racca, P., Link, S., Farhumand, J., & Kleinhenz, B. (2020). Overview on the review articles published during the past 30 years relating to the potential climate change effects on plant pathogens and crop disease risks. *Plant pathology*, 69(2), 179-193.
- Kriticos, D. J., Darnell, R. E., Yonow, T., Ota, N., Sutherst, R. W., Parry, H. R., ... & De Barro, P. J. (2020). Improving climate suitability for Bemisia tabaci in East Africa is correlated with increased prevalence of whiteflies and cassava diseases. *Scientific reports*, 10(1), 22049.
- Kirchner, S. M., Hiltunen, L., Döring, T. F., Virtanen, E., Palohuhta, J. P., & Valkonen, J. P. (2013). Seasonal phenology and species composition of the aphid fauna in a northern crop production area. *PLoS One*, 8(8), e71030.

- Lee, B. W., Oeller, L. C., & Crowder, D. W. (2023). Integrating community ecology into models of vector-borne virus transmission. *Plants*, 12(12), 2335. <https://doi.org/10.3390/plants12122335>
- Lefevre, P., Martin, D. P., Elena, S. F., Shepherd, D. N., Roumagnac, P., & Varsani, A. (2019). Evolution and ecology of plant viruses. *Nature Reviews Microbiology*, 17(10), 632-644.
- Li, R., Weldegergis, B. T., Li, J., Jung, C., Qu, J., Sun, Y., ... & Ye, J. (2014). Virulence factors of geminivirus interact with MYC2 to subvert plant resistance and promote vector performance. *The Plant Cell*, 26(12), 4991-5008.
- Mafongoya, P., Gubba, A., Moodley, V., Chapoto, D., Kisten, L., & Phophi, M. (2019). Climate change and rapidly evolving pests and diseases in Southern Africa. *New frontiers in natural resources management in Africa*, 41-57.
- Manacorda, C. A., Gudesblat, G., Sutka, M., Alemano, S., Peluso, F., Oricchio, P., ... & Asurmendi, S. (2021). TuMV triggers stomatal closure but reduces drought tolerance in Arabidopsis. *Plant, Cell & Environment*, 44(5), 1399-1416.
- Martínez-Arias, C., Witzell, J., Solla, A., Martin, J. A., & Rodríguez-Calcerrada, J. (2022). Beneficial and pathogenic plant-microbe interactions during flooding stress. *Plant, Cell & Environment*, 45(10), 2875-2897.
- Masters, G. J., Brown, V. K., Clarke, I. P., Whittaker, J. B. & Hollier, J. A. (1998). Direct and indirect effects of climate change on insect herbivores: Auchenorrhyncha (Homoptera). *Ecological Entomology*, 23(1), 45-52.
- Mauck, K. E., Chesnais, Q., & Shapiro, L. R. (2018). Evolutionary determinants of host and vector manipulation by plant viruses. *Advances in virus research*, 101, 189-250.
- Mauck, K. E., De Moraes, C. M., & Mescher, M. C. (2016). Effects of pathogens on sensory-mediated interactions between plants and insect vectors. *Current Opinion in Plant Biology*, 32, 53-61.
- Mbow, C., Rosenzweig, C., Barioni, L. G., Benton, T. G., Herrero, M., Krishnapillai, M., & Waha, K. (2019). Chapter 5: food security. *IPCC special report on climate change and land*, 437-550.

- Mishra, R., Shteinberg, M., Shkolnik, D., Anfoka, G., Czosnek, H., & Gorovits, R. (2022). Interplay between abiotic (drought) and biotic (virus) stresses in tomato plants. *Molecular Plant Pathology*, 23(4), 475-488.
- Montes, N., & Pagán, I. (2022). Challenges and opportunities for plant viruses under a climate change scenario. *Advances in Virus Research*, 114, 1-66.
- Moreno-Delafuente, A., Viñuela, E., Fereres, A., Medina, P., & Trębicki, P. (2020). Simultaneous increase in CO₂ and temperature alters wheat growth and aphid performance differently depending on virus infection. *Insects*, 11(8), 459.
- Moreno-Delafuente, A., Viñuela, E., Fereres, A., Medina, P., & Trębicki, P. (2021). Combined effects of elevated CO₂ and temperature on multitrophic interactions involving a parasitoid of plant virus vectors. *BioControl*, 66, 307-319.
- Nachappa, P., Culkin, C. T., Saya, P. M., Han, J., & Nalam, V. J. (2016). Water stress modulates soybean aphid performance, feeding behavior, and virus transmission in soybean. *Frontiers in Plant Science*, 7, 552.
- Nault, L. R. (1997). Arthropod transmission of plant viruses: a new synthesis. *Annals of the entomological Society of America*, 90(5), 521-541.
- Nebreda, M., Moreno, A., Pérez, N., Palacios, I., Seco-Fernández, V., & Fereres, A. (2004). Activity of aphids associated with lettuce and broccoli in Spain and their efficiency as vectors of Lettuce mosaic virus. *Virus Research*, 100(1), 83-88.
- Okuda, S., Okuda, M., Matsuura, S., Okazaki, S., & Iwai, H. (2013). Competence of *Frankliniella occidentalis* and *Frankliniella intonsa* strains as vectors for Chrysanthemum stem necrosis virus. *European journal of plant pathology*, 136, 355-362.
- Parizipour, M. H. G., Ramazani, L., & Sardrood, B. P. (2018). Temperature affected Transmission, Symptom Development and Accumulation of Wheat Dwarf Virus. *Plant Protection Science*, 54(4).
- Peñalver-Cruz, A., Garzo, E., Prieto-Ruiz, I., Díaz-Carro, M., Winters, A., Moreno, A., & Fereres, A. (2020). Feeding behavior, life history, and virus transmission ability of *Bemisia tabaci* Mediterranean species (Hemiptera: Aleyrodidae) under elevated CO₂. *Insect science*, 27(3), 558-570.
- Ramos, R. S., Kumar, L., Shabani, F., & Picanço, M. C. (2019). Risk of spread of tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) in tomato crops under various climate

- change scenarios. *Agricultural Systems*, 173, 524-535. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.03.020>.
- Ray, D. K., West, P. C., Clark, M., Gerber, J. S., Prishchepov, A. V., & Chatterjee, S. (2019). Climate change has likely already affected global food production. *PloS one*, 14(5), e0217148.
- Rotenberg, D., Jacobson, A. L., Schneweis, D. J., & Whitfield, A. E. (2015). Thrips transmission of tospoviruses. *Current opinion in virology*, 15, 80-89.
- Roy, B., Dubey, S., Ghosh, A., Shukla, S. M., Mandal, B., & Sinha, P. (2021). Simulation of leaf curl disease dynamics in chili for strategic management options. *Scientific reports*, 11(1), 1010.
- Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S. J., Esker, P., McRoberts, N., and Nelson, A. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nat. Ecol. Evol.* 3 (3): 430–439.
- Sarwar, M. (2020). Typical flies: Natural history, lifestyle and diversity of Diptera. In *Life Cycle and Development of Diptera*. IntechOpen.
- Singh, B. K., Delgado-Baquerizo, M., Egidi, E., Guirado, E., Leach, J. E., Liu, H., & Trivedi, P. (2023). Climate change impacts on plant pathogens, food security and paths forward. *Nature Reviews Microbiology*, 21(10), 640-656. <https://doi.org/10.1038/s41579-023-00900-7>.
- Shteinberg, M., Mishra, R., Anfoka, G., Altaleb, M., Brotman, Y., Moshelion, M., ... & Czosnek, H. (2021). Tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) promotes plant tolerance to drought. *Cells*, 10(11), 2875.
- Skendžić, S., Zovko, M., Živković, I. P., Lešić, V., & Lemić, D. (2021). The impact of climate change on agricultural insect pests. *Insects*, 12(5), 440.
- Stiling, P., & Cornelissen, T. (2007). How does elevated carbon dioxide (CO₂) affect plant–herbivore interactions? A field experiment and meta-analysis of CO₂-mediated changes on plant chemistry and herbivore performance. *Global change biology*, 13(9), 1823-1842.
- Stumpf, C. F., & Kennedy, G. G. (2007). Effects of tomato spotted wilt virus isolates, host plants, and temperature on survival, size, and development time of *Frankliniella occidentalis*. *Entomologia experimentalis et applicata*, 123(2), 139-147.

- Sseruwagi, P., Sserubombwe, W. S., Legg, J. P., Ndunguru, J., & Thresh, J. M. (2004). Methods of surveying the incidence and severity of cassava mosaic disease and whitefly vector populations on cassava in Africa: a review. *Virus research*, 100(1), 129-142.
- Szczepaniec, A., & Finke, D. (2019). Plant-vector-pathogen interactions in the context of drought stress. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7, 262.
- Şin, B., & Okçu, Ö. Ü. (2022). İklim değişikliğinin fitopatoloji açısından incelenmesi. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 3(1), 31-39.
- Takami, N. (1901). On dwarf disease of rice plant and “tsumaguro-yokabai”. *J. Jpn. Agric. Soc*, 241, 22-30.
- Tsai, W. A., Brosnan, C. A., Mitter, N., & Dietzgen, R. G. (2022). Perspectives on plant virus diseases in a climate change scenario of elevated temperatures. *Stress Biology*, 2(1), 37.
- Trebicki, P. (2020). Climate change and plant virus epidemiology. *Virus research*, 286, 198059.
- Trębicki, P., Nancarrow, N., Cole, E., Bosque-Pérez, N. A., Constable, F. E., Freeman, A. J., ... & Fitzgerald, G. J. (2015). Virus disease in wheat predicted to increase with a changing climate. *Global change biology*, 21(9), 3511-3519.
- Trębicki, P., Vandegeer, R. K., Bosque-Pérez, N. A., Powell, K. S., Dader, B., Freeman, A. J., ... & Luck, J. E. (2016). Virus infection mediates the effects of elevated CO₂ on plants and vectors. *Scientific reports*, 6(1), 22785.
- Van Munster, M. (2020). Impact of abiotic stresses on plant virus transmission by aphids. *Viruses*, 12(2), 216.
- Van Munster, M., Yvon, M., Vile, D., Dader, B., Fereres, A., & Blanc, S. (2017). Water deficit enhances the transmission of plant viruses by insect vectors. *PLoS One*, 12(5), e0174398.
- Van Nieuwenhove, G. A., Frías, E. A., & Virla, E. G. (2016). Effects of temperature on the development, performance and fitness of the corn leafhopper *D. albulus maidis* (DeLong)(Hemiptera: Cicadellidae): implications on its distribution under climate change. *Agricultural and Forest Entomology*, 18(1), 1-10.
- Velásquez, A. C., Castroverde, C. D. M., & He, S. Y. (2018). Plant–pathogen warfare under changing climate conditions. *Current biology*, 28(10), R619-

- R634.Takami, N. (1901) On dwarf disease of rice plant and ‘tsumaguro-yokabai. *Journal of the Japanese Agricultural Society*, 241, 22–30.
- Wamonje, F. O., Donnelly, R., Tungadi, T. D., Murphy, A. M., Pate, A. E., Woodcock, C., ... & Carr, J. P. (2020). Different plant viruses induce changes in feeding behavior of specialist and generalist aphids on common bean that are likely to enhance virus transmission. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1811.
- Wang, Y., Bao, Z., Zhu, Y., & Hua, J. (2009). Analysis of temperature modulation of plant defense against biotrophic microbes. *Molecular plant-microbe interactions*, 22(5), 498-506.
- Wu, Y., Li, J., Liu, H., Qiao, G., & Huang, X. (2020). Investigating the impact of climate warming on phenology of aphid pests in China using long-term historical data. *Insects*, 11(3), 167.
- Yar Wood, C. E. (1952). The phosphate effect in plant virus inoculations. Yarwood, C.E., 1952. *Phytopathology*, 42, 137–143.
- Ye, L., Fu, X., & Ge, F. (2010). Elevated CO₂ alleviates damage from Potato virus Y infection in tobacco plants. *Plant Science*, 179(3), 219-224.
- Xie, H., Zhao, L., Wang, W., Wang, Z., Ni, X., Cai, W., & He, K. (2014). Changes in life history parameters of *Rhopalosiphum maidis* (Homoptera: Aphididae) under four different elevated temperature and CO₂ combinations. *Journal of Economic Entomology*, 107(4), 1411-1418.
- Xu, P., Chen, F., Mannas, J. P., Feldman, T., Sumner, L. W., & Roossinck, M. J. (2008). Virus infection improves drought tolerance. *New Phytologist*, 180(4), 911-921.
- Zhou, J. S., Drucker, M., & Ng, J. C. (2018). Direct and indirect influences of virus–insect vector–plant interactions on non-circulative, semi-persistent virus transmission. *Current opinion in virology*, 33, 129-136.
- Zhou, X., Harrington, R., Woiwod, I. P., Perry, J. N., Bale, J. S., & Clark, S. J. (1995). Effects of temperature on aphid phenology. *Global Change Biology*, 1(4), 303-313.

BÖLÜM 5
TARIMDA TELKURTLARI VE ALTERNATİF KONTROL
STRATEJİLERİ

Dr. Nilay GÜLPERÇİN¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13767852>

¹ Ege Üniversitesi, Tabiat Tarihi Uygulama ve Araştırma Merkezi, İzmir, Türkiye,
nilay.gulpercin@ege.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-9309-6528

GİRİŞ

Günümüzde tarım, ideal bitki verimliliğini ve gıda güvenliğini tehlikeye atan ciddi zorluklarla karşı karşıyadır. Küresel düzeydeki nüfus artışı, değişen iklim koşulları, toprağın bozulması ve bitki zararlısı organizmalar, mevcut doğal kaynakların azalmasına neden olan etkenlerden bazılarıdır. Bu durum gerçek bir ihtiyacı doğurmaktadır: “DAHA VERİMLİ OLMAK ZORUNDAYIZ...”

İklim değişikliği, türlerin dağılımını, biyolojilerini ve verdikleri döl sayılarını etkileyerek zararlılara ve patojenlere karşı tarım ürünlerinin korunmasına ilişkin yeni endişeleri ortaya çıkarmaktadır. Kimyasal pestisit ve gübrelerin hem çevre hem de insan sağlığı üzerindeki zararlı etkilerine ilişkin toplumsal farkındalık, böcek popülasyonlarında ve biyolojik çeşitlilikte özellikle daha çevre dostu ürün yönetimi uygulamalarını desteklemektedir (Poggi et al., 2021).

Kınkanatlı böceklerden telkurtlarının (Coleoptera: Elateridae) toprakta yaşayan larvaları da dünyada ürün rekoltesi yüksek patates ve mısır başta olmak üzere birçok kültür bitkisinde verimin düşmesine neden olan zararlar oluşturmaktadır. Tarımsal zararlılara karşı pestisit kullanımının azaltılmasına yönelik mevcut eğilim, telkurdu popülasyonlarını kontrol etmek için alternatif yöntemler konusunda taleplerin ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Bu çalışmanın amacı, telkurtlarına karşı yeni tarımsal-kontrol stratejileri geliştirmek için son teknolojiye sahip güncel uygulama teorilerini sunmaktır. Bu konuda öncelikli yapılması gereken ürün, iklim ve toprak özellikleri gibi üretime yönelik ve telkurdu larva popülasyonunun izlenmesine dayalı bir risk değerlendirmesi yapmak olmalıdır. Ekonomik Zarar Eşiği (EZE) riski önemli görüldüğünde münavebe, toprak işleme ve sulama gibi koruyucu önlemler telkurdu popülasyonunu düşürmek için uygulanmalıdır. Ayrıca doğal düşmanlara ve doğal olarak elde edilen böcek ilaçlarına dayalı yöntemlerin de

mücadele programına alınması doğal dengenin korunması açısından önemlidir. Alternatif olarak dayanıklı çeşit kullanımı, ekim ve hasat zamanının ayarlanması gibi kültürel uygulamaların benimsenmesi; konukçu bitkilerden salgılanan semiokimyasal maddelerin telkurtlarının davranışlarına olan uyarı ve yönelme gibi etkilerinin kontrol edilmesi yoluyla zararlı bolluğu yerine ürün zararının azaltılması hedeflenebilir. Başarılı ve istenilen düzeyde bir koruma sağlanabilmesi için, uygulamalar bir Entegre Zararlı Yönetimi (IPM) kapsamında birleştirilmelidir.

Elateridae familyasına bağlı türlerin toprakta yaşayan larvaları olan telkurtlarının kontrolü, bu konunun dikkate değer bir örneği olup, bu araştırmanın odak noktasını oluşturmaktadır.

Tarım ve orman alanlarında toprakaltı zararlıları olarak bilinen telkurtları, takla böceklerinin toprakta yaşayan larvalarıdır. Telkurtları olarak isimlendirilmeleri larvalarının tele benzetilmesi nedeniyledir. Takla böcekleri, çitböcekleri ve demirciböcekleri de bu böcekler için sıklıkla kullanılan isimlerdir. Erginler 8-10 mm boylarında olup, uzun ve yassı vücutları arkaya doğru incelmektedir. Türler göre değişmekle birlikte genellikle siyah, kahverengi, kırmızı, turuncu veya koyu sarı, bazen de metalik renklindedir. En karakteristik özellikleri vücutları ters çevrildiğinde “çıt” şeklinde ses çıkarıp aniden havaya sıçrayarak bacaklarının üzerine düşmeleridir. İnce ve silindirik yapıda olan larvaları 22-25 mm uzunluğunda olup, parlak bir vücuda sahiptir. Açık sarı, kahverengi veya kırmızımsı renkte, esnek sert bir deriye sahip vücutlarına dokunulduğunda yavaş hareketlerle kıvrılmaktadırlar (Gülperçin & Tezcan, 2008).

Telkurtları kışı larva veya ergin dönemde geçirmektedir. Larvalara kış aylarında toprak derinliklerinde, erginlere ise toprak içinde oluşturdukları odacıklarda veya ot yığınları altında rastlanır. İlkbaharda larvalar toprak yüzeyine yaklaşarak beslenmekte, ergin hale geldiklerinde ise buldukları yerden ayrılarak beslenmeye devam edip

çifleşmektedir. Yumurtalar temmuz ayı ortalarına kadar toprağın 10-15 cm derinliğine tek tek ya da 30-40'lık kümeler halinde bırakılır. Yumurtalar 0.5 mm uzunluğunda olup, oval veya gri-beyaz renklidir. Bir dişinin bıraktığı yumurta sayısı türlere göre değişmekle birlikte 150 dolayında olup, açılma süresi 30-40 gündür. Yumurtadan çıkan larvalar gelişimlerini 2-5 yılda tamamlayıp, kış aylarında toprağın derinliklerine inerek kışı geçirmektedir. İlkbaharda toprağın ısınmasıyla yüzeye çıkmakta, yaz aylarının aşırı sıcak ve kurak günlerinde ise tekrar derine inmektedir. Olgunlaşan larvalar, yazın toprağın 30-40 cm derinliğinde pupa dönemine girmektedir. En çok zarar yaptıkları bitkiler arasında patates, mısır, şekerpancarı, tütün, pamuk, buğday, arpa, yulaf, havuç, yerfıstığı ve soğan gibi tek yıllık bitkilerin yanı sıra bazı çok yıllık bitkiler de bulunmaktadır (Gülperçin & Tezcan, 2008).

Telkurtlarının erginleri ilkbahar başında genç bitkilerin tomurcuk, sürgün, çiçek ve meyve gibi taze kısımlarını yiyerek beslenirlerse de esas zararı larvalar yapmaktadır. Larvalar özellikle bitkilerin toprakaltı kısımlarında ince kökleri kopararak; kalın kökler, toprağa yakın ana gövde ve yumrular içinde galeri açarak beslenmektedir. Yoğun buldukları yerlerde zararları çok fazla olup, bazı bitkilerde bu oran % 80'e kadar yükselmektedir. Daha ağır zarara yol açan olgun larvalar yeni fidelerin köklerini kemirip kopararak kök sistemini zarara uğratmaktadır. Saçak ve kazık köklü bitkilerin körpe ve genç olduğu dönemlerde ise zararları daha da artmaktadır. Bu bitkilerin ileri dönemlerinde kök sistemi geliştiği ve kalınlaştığı için meydana gelen zarar önemsenmez. Havuç ve patates gibi yumrulu bitkilerde açtıkları delik ve galerilerle kaliteyi etkileyerek pazar değerinin düşmesine neden olurlar. Bu yaralanma yerlerinden bitkilerde hastalık oluşturan bakteri ve funguslar girerek çürümeler meydana getirebilir. Telkurtlarının yoğunluğunun metrekarede 4-5 larva olduğunda % 5 zarara; metrekarede 15 birey olduğunda ise % 20-25'lik ürün kaybına neden olduğunu bildiren kayıtlar bulunmaktadır. Tarım alanlarında ve özellikle

fidanlıklarda tohumlara zarar veren türleri de bulunmaktadır (Gülperçin & Tezcan, 2008). Pupa haline gelmeden önce beş yıl kadar bu şekilde beslenen larvalar, ürünlerin pazarlanabilirliğinin önemli ölçüde azalmasına, verim kaybına veya fide ölümüne yol açmaktadır. Böylece kökleri, tohumları ve yumrularıyla beslendikleri bitkilerin sağlığı ve verimliliği için önemli bir tehdit haline gelmektedirler (Anonymous, 2024b).

Bu konuda tarımsal-kontrol stratejileri geliştirmede son teknolojiye sahip güncel uygulamalar için öncelikli yapılması gerekenler ürün, iklim ve toprak özellikleri gibi üretime yönelik ve telkurdu larva popülasyonunun izlenmesine dayalı bir risk değerlendirmesi yapmak olmalıdır. Ancak bu şekilde, doğru bilgi ve koruyucu önlemlerle Telkurdu riskinin tarla bitkilerinde ekim öncesi değerlendirilmesi sağlanabilmektedir.

Buna göre;

- Otlakların sürülmesinden sonraki 2 yıl içinde ekilen bitkiler,
- Kış ekiminin hakim olduğu yerlerde, özellikle yabancı otlar veya çim alanlar,
- Güneye bakan, eğimli tarlalar, ağır alüvyonlu topraklar ve minimum toprak işlemeli tahıl bitkileri,
- Geç kalkan patatesler telkurtlarına karşı risk faktörleri olup, tarla bitkilerinde ekim öncesi bu alanların değerlendirilmesi önemsenmelidir (Anonymous, 2024b).

Daha sonra bitki, iklim ve toprak özellikleri gibi üretime yönelik bir risk değerlendirmesi planlanmalıdır. Telkurtlarına karşı mücadele kararını vermeden önce toprak özelliklerinin belirlenmesi için toprak örnekleri alınması tavsiye edilmektedir. Basit bir izleme yöntemi olan bu yöntem, sonbaharda sürümden sonra toprağı telkurdu larvalarının varlığı açısından görsel olarak incelemeyi amaçlamaktadır. Telkurtlarını tespit

etmek için diğer yöntemler arasında ise tuzak yemlerle toprak örneklerinin bir arada düşünülerek taranması yer almaktadır (Davis et al., 2020).

Üzerinde mücadele edilmesi önerilen telkurdu eşikleri; türe, örneklemedeki larva sayısına, örnekleme yöntemine ve ilgili bitkilere bağlıdır (Furlan, 2004). Telkurtlarının toprak içinde dikey hareket etmeleri nedeniyle bir alandaki dağılımının düzensiz olacağı göz önünde bulundurularak tespit için çok sayıda örnekleme ihtiyacı duyulmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalarla ilgili bazı örnekleme yöntemleri aşağıda verilmiştir:

Yöntem 1: Telkurtları için örnek alma sonbaharda ilk dondan önce, larvaların aşağıya doğru hareket etmeye başladığı dönemde veya ilkbaharda toprak sıcaklığının yaklaşık 8°C'ye yükseldiği dönemde olmalıdır. Topraktaki telkurtlarının seviyesini değerlendirmek için birçok yöntem bulunmaktadır. Araziye mümkün olduğu kadar çok yerden rastgele toprak örnekleri alınması tavsiye edilmektedir. Her örnek benzer büyüklükte bir alanı, yani 15 cm derinlikte 1 metrekare alanı temsil etmelidir (Anonymous, 2022).

Yöntem 2: Yirmi dört saat suda bekletilmiş yarım bardak yulaf, bahar buğdayı, mısır veya arpa diz boyundaki naylon çoraplara doldurulmalı, tarlalarda rastgele dönüm başına yaklaşık 1 tuzak olacak şekilde 17-18 cm derinliğinde çukurlar kazılarak toprağa yerleştirilmelidir. Üzerleri koyu bir plastikle kapatılarak 7-10 gün bekletildikten sonra bu tuzaklar ve çevresindeki toprak bir kürek yardımıyla toplanıp, sayım için toprak eleme yöntemi uygulanmalıdır. Ekimden en az 3 hafta önce izlemeye başlanmalı, tuzaklama gerektiği kadar tekrarlanmalı ve eski tuzakları yeniden kullanmak yerine yenileri rastgele olarak konumlara yerleştirilmelidir. Genel olarak, tuzak başına ortalama 1 veya daha fazla telkurdu bu yöntemin eşigidir (Rondon et al., 2017).

Yöntem 3: Tarlalarda 10-20 işaretli alanda 8 cm derinliğe gömülen ve 2-3 gün içinde toplanan havuçlar, telkurtlarından kaynaklanan riski değerlendirmek için etkili başka bir yöntemdir (Anonymous, 2022).

Yöntem 4: İri taneli tam buğday unu veya yulaf ezmesi veya işlenmemiş mısır ve buğday tohumu karışımı ince, gözenekli keseler içine yerleştirilip toprağın 15-30 cm derinliğine gömülerek kullanılabilir. Keseler paketlenmeden toprakla gömülmelidir. Bu yem tuzaklar siyah plastikle örtülmeli ve plastiğin kenarları toprakla sabitlenmelidir. Bu tuzaklar ekimden 2-3 hafta önce yerleştirilmelidir. Yem tuzaklar 2-3 hafta sonra toplanarak telkurtları sayılmalıdır. Bu yöntemde zararlı eşiği, yem tuzağı başına 0.5-1.0 canlı telkurdu olmalıdır (Anonymous, 2022).

Yöntem 5: Bazı bölgelerde ergin telkurtlarını izlemek için feromon tuzaklar da kullanılmaktadır. Erginlerin tanınması daha kolay olduğundan, bir bölgedeki ergin telkurdu türlerinin belirlenmesi gerektiğinde bunun daha yararlı bir yöntem olduğu düşünülmektedir (Anonymous, 2022).

Yöntem 6: İlkbaharda veya ağustos ayının başından ortasına kadar tarlalarda belirlenen yerlere gömülen patatesler, telkurtlarının bulunup bulunmadıkları konusunda fikir vermektedir. Bu yöntemle, patateslerin 10-15 cm derinliğe gömülüp, birkaç hafta sonra kazılıp telkurdu tünelleri açısından incelenmesi önerilmektedir (Anonymous, 2024a).

Yöntem 7: Larva örneği almak için 50 cm x 50 cm'lik alanlar işaretlenip, buradaki toprağın 15 cm derinliğe kadar elenmesi de uygulanabilir bir yöntemdir. Metrekare başına ortalama larva sayısını belirlemek için tarlanın farklı alanlarında bu yöntem tekrarlanmalıdır. Çimlenme sırasında örnek alınmasının, fidelerle beslenen larvaların bulunma olasılığını artıracığına dikkat edilmelidir (Anonymous, 2024a).

Yöntem 8: Yem topları, telkurtlarının varlığının değerlendirilmesine yardımcı bir yöntem olup, her zaman larva yoğunluğunu göstermemektedir. Yem topları, buğday unu veya yulaf ezmesinden yapılmakta olup, karbondioksit salınımıyla larvaları çekmektedir. Bir yem topu, 1-1.5 bardak yulaf ezmesi veya buğday unu ile 2 yemek kaşığı bal ve yarım bardak kadar suyun karıştırılmasıyla elde edilmektedir. Yem toplarının, topraktan daha kolay çıkarılabilmesi için soğan torbası veya tülbent gibi file torbalarla 11-12 cm derinliğe gömülmeli ve yerleri işaretlenmelidir. Telkurdunun varlığına ilişkin bir değerlendirme elde etmek için dönüm başına yaklaşık 20 eşit aralıklı yem topuna ihtiyaç bulunmaktadır. Yem toplarının herhangi bir telkurdu çekip çekmediği 4-5 günde bir kontrol edilmelidir (Anonymous, 2024a).

Zayıflamış bitkilerde, zarardan telkurtlarının sorumlu olup olmadığının belirlenmesi de kritik öneme sahiptir. Telkurtları devam eden bir sorunsa, tarlalar yıllık olarak izlenmelidir. Telkurtlarının genellikle toprak profilinde dikey olarak hareket etmeleri nedeniyle bulaşıklık bir tarla içinde büyük ölçüde değişiklik gösterebilmektedir. Dikkat edilmesi gereken bir nokta olarak, hiçbir izleme veya örnek alma yöntemi, telkurtlarının bir ürün için oluşturabileceği ekonomik riskin tam olarak anlaşılmasını sağlayacak kadar başarılı değildir. İzleme sonuçlarında meydana gelebilecek aşırı değişkenlik nedeniyle herhangi bir zamanda kesin sonuçlar almak mümkün değildir. Düşük toprak sıcaklıklarında veya sert hava koşullarında çoğu yemin etkinliği azaldığından bu zararlıların tuzaklara yönelmeleri zorlaşmaktadır. Ayrıca, yakın zamanda sürülmüş, yüksek düzeyde organik madde bulunan tarlalarda, telkurtları yemli tuzaklara veya yem toplarına yönelmek için yeşil gübreyi terk edemeyebilir (Anonymous, 2024a).

Telkurdu popülasyonunu EZE'nin altına düşürmek için alınması gereken koruyucu önlemler ise:

1. NÖBETLEŞE YETİŞTİRİCİLİK

Aynı bitkiyi her yıl aynı tarlada yetiştirmek yerine, nöbetleşe yetiştiricilik uygulamalarıyla telkurtlarının aşırı çoğalmalarının ve zarar yapmalarının önlenmesi mümkündür. Özellikle patatesin telkurtlarına karşı duyarlı olması nedeniyle, patates yetiştirme alanlarında telkurtlarının fazla olduğu yılların ardından yonca yetiştirilmesi oldukça etkili olmaktadır (Gülperçin & Tezcan, 2008).

Uygun bir nöbetleşe yetiştiricilik programının planlanması, telkurtlarının zararının önlemesi için önemli bir yöntemdir. Rotasyona girecek bitkilerin ekimlerinin yıllık olarak dönüşümlü yapılması, belirli ürünler için özel tercihleri bulunan bu zararlıların yaşam döngülerini bozmaktadır. Böylece ardışık mevsimlerde aynı bölgede telkurtlarına duyarlı bitkiler yetiştirilmekten kaçınılmalıdır. Telkurtlarına karşı en duyarlı üç tarla bitkisi olan patates, turp ve havucun, bezelye gibi telkurtlarının çok daha az sorun yaratacağı bir bitkiyle rotasyona sokulması önerilmektedir (Anonymous, 2023).

Ayrıca, telkurdu popülasyonlarını kontrol ederken başarılı bir koruma stratejisi için en uygun konumlara yerleştirilen bitkilerle zengin bir rotasyon içeren çeşitlendirilmiş bir ekosistem planlamalıdır. Telkurdu zararına duyarlı bitkiler, telkurdu popülasyonlarını desteklemeyen veya azaltan bitkilerin arasına yerleştirilmelidir. Böylece tarlalarda bitki çeşitlendirmesi telkurdu kontrolüne fayda sağlamaktadır. Milosavljević et al. (2019)'na göre arpa ve yulafın ürün rotasyonuna dahil edilmesi telkurdu saldırılarını azaltmakta, Griffiths (1974)'e göre hardal, lahanaya, fransız kadife çiçeği, yonca ve keten, telkurdu zararına daha az duyarlıyken, bezelye ve fasulye bitkileri zarara karşı dayanıklıdır. Furlan et al. (2009, 2010)'na göre ise bitki seçimi, hem toprak biyolojik çeşitliliği ve ekosistem stabilitesi üzerindeki etkisi hem de biyofumigant/biyosidal etkisi yoluyla telkurdu kültürel kontrolüne katkıda sağlamaktadır. Ayrıca bitki seçimi, ekim yatakları hazırlanırken toprak işleme veya geniş sıra arası bitkilerde çapalama nedeniyle larva

ölümlerini artırarak telkurdu mekanik kontrolüne de katkıda bulunmaktadır.

2. TOHUM UYGULAMALARI

Telkurdu zararının etkisini azaltmak için bitkilerin çimlenmesini ve erken büyümesini hızlandıran yöntemler uygulanmalıdır. Bu yöntemler;

- Tohumların çok erken ya da çok geç ekiminden kaçınılması,
- Sağlıklı tohum kullanılması,
- Hızlı çimlenmeyi ve ortaya çıkışı teşvik etmek için tohumların 2-5 cm derinlikte ılık ve nemli bir toprağa ekilmesi,
- Kuru toprağa ekim yapıldığında ürünün % 90-95'i yok olurken, nemli toprağa ekim yapıldığında bu oranın % 5-10 olduğu göz önünde bulundurularak nemli toprağa ekim yapılması (Anonymous, 2024a).

3. TOPRAK İŞLEME

Kültür bitkilerinde üretim uygulamalarının bir parçası olarak toprak işleme, telkurtlarının zararını azaltmaya yardımcı olmaktadır. Yaşam döngülerinin birkaç yıl sürmesi ve büyük ölçüde toprakta gerçekleşmesi nedeniyle toprak işleme uygulamaları telkurtlarını oldukça etkilemektedir. Erken ilkbaharda yüzeysel yapılan ekim, yumurtaların açığa çıkmasına, yumurtaların ve yumurtadan çıkan larvaların zarar görmesine neden olmaktadır (Anonymous, 2024a).

İlkbaharda yumurtlama dönemindeki dişiler, sıcaklık değişimlerine (Balachowsky & Mesnil, 1935) ve yumurtalarına karşı duyarlılıkları nedeniyle yumurtalarını mümkün olduğunca toprak altına veya çimen gibi sabit bir ortamda toprağın üst katmanına (Furlan, 1996, 2004) bırakmaktadır. Böylece yumurtadan çıkan larvalar toprak

işlemeye, özellikle de tarım uygulamalarına maruz kalmakta ve savunmasız hale gelmektedir (Salt & Hollick, 1949).

Toprak işlemeyle toprakta ve toprak altında yaşama eğiliminde olan telkurtları, olumsuz çevre koşullarına ve doğal düşmanlarına etkili bir şekilde maruz bırakılmaktadır. Ayrıca yaşam alanlarının bozulmasına, yaşam döngülerinin kırılmasına yardımcı olup, popülasyonlarını azaltmaktadır (Anonymous, 2023).

Telkurtlarının neden olduğu zararı azaltmak için toprak yüzeyine yakın oldukları yaz sonu veya sonbahar başında toprak işleme yapılmalıdır. Böylelikle larvaların toprak yüzeyine çıkarak kurak ve sıcak koşullarda ölmeleri ve doğal düşmanlarla karşılaşmaları sağlanmalıdır (Gülperçin & Tezcan, 2008).

4. TOPRAĞIN SUSUZ BIRAKILMASI

Bazı telkurdu popülasyonlarının (*Limonius* spp. gibi) şeker pancarı tarlalarında nemli toprağı tercih etmeleri nedeniyle toprağın 35 cm'lik kısmının yaz ortasında birkaç hafta susuz bırakılması popülasyonu azaltmaya yönelik oldukça başarılı bir yöntemdir. Toprağın susuz bırakılması, yumurtaları ve genç larvaları hedef almaktadır (Davis et al., 2020).

5. TOPRAĞIN SU ALTINDA BIRAKILMASI

Toprağı sulamak toprak altında bitki kısımlarıyla beslenen telkurtlarının larvalarının yok edilmesi bakımından oldukça etkilidir. Toprağın bir süre su altında bırakılması da telkurtlarının toprak yüzeyine çıkması ve öldürülmesi açısından başarılı bir yöntemdir (Gülperçin & Tezcan, 2008). Toprak sıcaklığının 20°C'nin üzerinde olduğu durumlarda toprağı en az 2 hafta boyunca suyla iyice doyumak veya su altında bırakmak, telkurdu popülasyonlarını önemli ölçüde azaltmaktadır (Davis et al., 2020).

6. TOPRAK SAĞLIĞI

Sağlıklı toprakların kompost, gübre veya yeşil gübrelerle korunması telkurdu zararını azaltmaktadır. Brassicaceae familyasına bağlı bazı bitkilerin veya yağdan arındırılmış hardal küspelerinin gübre olarak kullanılması, toprak iyileştirilmesine neden olması yönüyle telkurdu popülasyonlarını azaltmak için bir yöntem olarak değerlendirilmelidir (Davis et al., 2020).

Fosforun kök gelişimini ve erken olgunluğu teşvik etmesi nedeniyle fosfatlı gübrelerin uygulanması, telkurdu zararını azaltmaya yardımcı olmaktadır. Gübre, nadas yılının sonlarında veya bir sonraki baharın başlarında uygulanmalı ve toprağa karıştırılmalıdır (Anonymous, 2024a).

7. DOĞAL DÜŞMANLARIN MÜCADELE PROGRAMLARINA ALINMASI

Zararlıları kontrol etmek için doğal düşmanların aşırı salınımı uzun yıllardan beri uygulanmakta ve gelecekte telkurtlarını kontrol etmede başarılı bir yöntemi olacağı tahmin edilmektedir. Kleespiess et al. (2013) tarafından yapılan çalışmalarda, telkurdu kontrolü için bazı potansiyel adayların varlığını belirterek günümüzün ana odak noktasının entomopatojenik organizmalar olduğu, nematodlar ve farklı organizma kombinasyonları üzerinde de bazı araştırmaların yapıldığı bildirilmiştir.

Çok sayıda omurgalı, telkurdu larvalarının ve erginlerinin doğal düşmanlarıdır. Ancak Avrupa ve Kuzey Amerika için bahsedilen 100'den fazla farklı türüyle kuşlar ana grup olarak görünmektedir (Hyslop, 1915; Subklew, 1938; Kirk et al., 1996). Memelilerin yanı sıra amfibi ve sürüngen avcılar kuşlardan daha az öneme sahiptir (Hyslop, 1915; Subklew, 1938). Bununla birlikte, omurgalıların genel olarak avlanmasına ve kümes hayvanlarının bu amaç için kullanılmasına yönelik girişimler günümüzde yapılmış olmasına rağmen, geniş bir alanda telkurdu sayısını önemli ölçüde azaltması pek olası değildir

(Subklew, 1938). Telkurtlarının diğer böcekler tarafından, özellikle de büyük avcı böcekler (Carabidae, Cicindelidae, Staphylinidae) veya predatör sinekler (Asilidae, Therevidae) tarafından da avlandığı zaman zaman gözlenmiştir (Subklew, 1938; Fox et al., 1956; Rabb, 1963; Van Herk, 2015).

Danişmazoğlu et al. (2012) tarafından yapılan çalışmada *Agriotes lineatus*'un bakteriyel florasının bazı üyelerinin ve ilgili bakterilerin %100'e varan oranda ölüme neden olduğu bulunmuştur. Hyslop (1915), çoğu durumda Tyroglyphidae familyasına bağlı akarların genellikle tarladan toplanan telkurtlarında görüldüğünü ve bu akarların telkurtlarıyla foretik bir bağlantısının olduğunu bildirmiştir. Subklew (1938) yaptığı çalışmada, *Paracodrus apterogynus*'un (Proctotrupidae) tek bir telkurdunda birden fazla bireyi bulunabilen bir parazitoit olduğunu bildirmiştir. *P. apterogynus*'un bilinen konukçuları *Agriotes obscurus*, *Agriotes lineatus* ve *Athous* spp.'dir (Zolk, 1924; Blunck, 1925; Subklew, 1935; Nixon, 1938; D'Aguiar, 1948). Diğer bir tür olan *Pristocera depressa* (Bethylidae)'nın, *Agriotes obscurus*'un bir parazitoidi olduğu bilinmektedir. *P. apterogynus* ve *P. depressa*'nın dişilerinin kanatsız olmaları her iki türün de telkurdu konukçularını toprak altında aradığını göstermektedir (Bognar, 1955).

Böcek patojeni funguslardan *Metarhizium anisopliae* Sorokin, 1883 ve *Metarhizium brunneum* Petch, 1935'un laboratuvar koşulları altında başarılı sonuçlar vermelerine rağmen, telkurdu kontrolü için herhangi bir ticari preparatları bulunmamaktadır (Anonymous, 2024b).

8. TELKURTLARINI KONTROL ETMEK İÇİN POTANSİYEL BİYOPESTİSİT OLARAK KULLANILAN ÜRÜNLER

Telkurtlarının zararının önlenmesi için biyopestisit olarak başka ülkelerde laboratuvar çalışması aşamasında olan veya kullanılan ancak Türkiye'de ruhsatsız olduğu bilinen ürünler aşağıda verilmiştir.

Patojenik Mantar - *Metarhizium anisopliae*: *Metarhizium anisopliae* Sorokin, 1883 (Hypocreales: Clavicipitaceae)'nin oldukça etkili bir izolatu, olası bir zararlı kontrol ürününün aktif bileşeni olarak kullanılmak üzere geliştirilmiştir. LRC112 olarak bilinen bu izolatu laboratuvarda ve arazi koşullarında telkurtlarını enfekte ettiği ve öldürdüğü belirlenmiştir. Halen deneysel bir ürün olup, etkinliği büyük ölçüde sıcaklığa ve toprak nemine bağlıdır. Bu biyokontrol ajanının üretiminin artması için konuyla ilgili daha fazla çalışmaya ihtiyaç bulunmaktadır (Anonymous, 2021).

CA-1 - Hardal Bazlı Ürün: Ticari olarak temin edilebilen bu ürünün telkurtları üzerinde kaçırcı bir etkiye sahip olduğu öne sürülmektedir. Laboratuvar ve arazi denemelerinde, hardal bazlı ürünün ölüme yol açmadığı, telkurtlarının toprağın daha derinlerine inmesine neden olduğu belirlenmiştir. Hardal bazlı ürünün potansiyel olarak telkurtlarının en çok zarar meydana getirdiği toprak katmanlarından uzak tutmak için kullanıldığı belirlenmiştir. Erken uygulama patateslerde fitotoksik etkilere neden olabileceğinden zamanlama kritik görünmektedir. Yaklaşım hâlâ deneysel olup, çevresel risk nedeniyle uygunluğunun değerlendirilmesi için daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir (Anonymous, 2021).

Biyosidal Yemler: Hem uygun bir rotasyon periyodunda telkurdu popülasyonunun azaltılması hem de duyarlı ürünün ekiminden hemen önce koruma yöntemleri olarak telkurdu popülasyonlarını kontrol etmek için pratik yöntemlerdir. Furlan et al. (2010) tarafından yapılan çalışmada, *Brassica carinata* tohum küspelerinin %80'den daha yüksek bir larva ölümüne ve böylece mısır fidelerinin tamamen korunmasına neden olduğu belirlenmiştir. Nematodlardan, özellikle *Steinernema* spp., telkurdu popülasyonlarını kontrol etmede önemlidir. Telkurdu larvalarının ölümüne yol açan bu nematod türünü içeren preparatlar talimatlara göre başarıyla uygulanmaktadır. Bu uygulamalarda nematodların serbestçe hareket edebilmesi ve telkurtlarına ulaşabilmesi

için toprağın yeterince nemli olmasına dikkat edilmelidir (Anonymous, 2023).

Bacillus thuringiensis gibi doğal olarak oluşan toprak bakterilerinden üretilen biyopestisitler de telkurtlarına karşı etkili kontrol sağlayabilmektedir. Özellikle telkurtlarını hedef alan *Bacillus thuringiensis* preparatları bazı ülkelerde sadece ticari üreticilerin kullanımına açıktır. Maksimum etkililiği sağlamak için bu biyopestisitleri uygularken talimatlar dikkatlice izlenmelidir (Anonymous, 2023).

9. TUZAK (TAMAMLAYICI) BİTKİLER

Telkurtlarının zarara uğrattığı bitkilerin sıraları arasında beslendiği ancak ekonomik olarak daha önemsiz olan buğday, mısır ve yonca gibi bitkilerin yetiştirilmesiyle, telkurtlarının bu bitkiler üzerinde toplanması ve diğer bitkilerdeki zararın azaltılması sağlanmalıdır (Gülperçin & Tezcan, 2008).

Ana üründen uzaklaştırmak amacıyla çekici olan bu bitkileri yetiştirmek, telkurtlarının zararlı olduğu kültür bitkilerinden uzaklaşmasına neden olmaktadır. Hardal, turp ve çavdar gibi telkurtlarını çektiğini bildiğimiz bitkileri, beslenerek zarar verdiği kültür bitkilerinin içinde veya çevresinde belirlenmiş alanlarda yetiştirmek telkurtlarını bu bitkilerden uzaklaştırmaktadır. Uygulamadan birkaç hafta sonra, tuzak bitkilerin çıkarıp yok edilmesiyle telkurdu popülasyonları önemli ölçüde ortadan kaldırılmaktadır (Anonymous, 2023).

10. SEMİOKİMYASAL MADDELER

Konukçu bitkilerden salgılanan semiokimyasal maddelerin telkurtlarının davranışlarına olan uyarı ve yönelme gibi etkilerinin kontrol edilmesi yoluyla zararlı bolluğu yerine ürün zararının azaltılması amaçlanmaktadır. 1970'lerden beri, takla böceklerine ait feromonların bileşenlerinin aydınlatılmasında birçok çalışma yapılmıştır. Tarımsal öneme sahip çeşitli türler için günümüzde sentetik karışımlar mevcut

olup, bunların telkurtlarını izlemeye kullanılmasına yönelik yeni yaklaşımlar, kitlesel olarak toplanmasına dayanan yeni kontrol stratejileri geliştirilmektedir. Feromon tuzaklar ya çiftleşmeyi engellemek ya da kitlesel tuzaklama yoluyla popülasyonları azaltmak için kullanılmaktadır *Agriotes* türleri için feromon tuzakların sınırlı çekim alanı, kitlesel tuzaklamanın zorluğunu daha da artırmakta, bu yüzden popülasyonların azaltılması yoğun bir tuzak ağının kurulmasını gerektirmektedir (Blackshaw et al., 2018; Furlan et al., 2020).

Hicks ve Blackshaw (2008), feromon tuzak uygulamalarının *Agriotes obscurus* için 15 tuzak/ha ile dört yıllık bir çalışma gerektirdiğini ve bu şekilde kitlesel tuzaklama uygulanarak bu türün popülasyonlarını baskılamanın son derecede pahalı olacağını belirlemişlerdir. Patatesler üzerinde yapılan uzun süreli bir çalışmada ise Sufyan et al. (2013), feromon tuzaklarla ardı ardına beş yıl boyunca üç farklı *Agriotes* türüne ait 12.000 örnek toplamış, ancak bu durum sonraki larva yoğunlukları veya patates zararı üzerinde herhangi bir etki yaratmamıştır. Vernon et al. (2014), 3 m aralıklarla yerleştirdikleri feromon tuzaklarının çiftleşmeyi potansiyel olarak bozduğunu ve *Agriotes obscurus*'un %85,6'sının başarıyla toplandığını gösteren bir çalışma yürütmüşlerdir. IPM programları için telkurdu popülasyon seviyelerini tahmin etmek amacıyla feromon tuzakların kullanımına ilişkin çalışmalar halen devam etmektedir (Van Herk et al., 2020).

11. DAYANIKLI ÇEŞİT KULLANIMI

Telkurdu zararına karşı dayanıklı çeşit kullanımı konusunda bilinenler oldukça azdır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, mısır çeşitlerinin telkurtlarına karşı dayanıklılık potansiyeli bulunduğunu göstermektedir (La Forgia et al., 2020). Brandl et al. (2017) yaptıkları çalışmada, üreticilerin bildirdiği artan patates zararı iddialarına dayanarak bu tarımsal stratejiden önemli ölçüde yararlanılmadığını ortaya koymuştur. Patates üretiminde, yaptıkları çalışmalar sonucunda Kwon et al. (1999), Parker & Howard (2000) ve Langdon & Abney,

(2017), çeşitlere göre telkurdu zararının görülme sıklığının ve şiddetinin azaldığını vurgulamışlardır. Davis et al. (2020)'nin yaptıkları araştırmada telkurtlarının potansiyel bir sorun olması durumunda analiz edilmeye değer bazı dayanıklı patates çeşitlerinin kullanılması bu zararlılara karşı koruma stratejileri açısından değerlendirmeye değer bulunmuştur.

12. TUZAKLAMA YÖNTEMLERİ

Son yıllarda geliştirilen tuzaklar, telkurdu popülasyonlarının izlenmesi, yakalanması ve zararlının azaltılmasında özellikle dar alanlarda oldukça başarılı olmaktadır.

Besin Tuzaklar: Besin tuzaklar, yanlarına delikler açılmış plastik şişeler buğday, arpa veya mısır tohumlarıyla doldurulup, kapağı kapatılarak toprağın 10 cm derinliğine yerleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. Bu tuzaklarla, telkurtlarının beslenmek için girdikleri şişelerden çıkamaması sağlanmaktadır. Yakalanan telkurtları periyodik olarak sayılarak popülasyonları izlenebilmekte ve kontrol önlemlerinin etkinliği değerlendirilmektedir. Telkurdu larvalarının ergin olmadan toprakta birkaç yıl geçirdiği göz önüne alındığında, bu tuzakların haftalık olarak izlenmesi başarılı olmaktadır (Anonymous, 2023).

Işık Tuzaklar: Böceklerin ışığa yönelimlerinden yararlanılarak geliştirilmiş ışık tuzaklarla telkurdu erginlerinin yakalanarak ölmeleri sağlanmaktadır. Temmuz-Ağustos aylarında *Melanotus* ve *Drasterius* cinslerine bağlı erginlerin popülasyonlarını azaltmak için başarılı olarak kullanılmaktadır (Gülperçin & Tezcan, 2008).

Sarı Yapışkan Görsel Tuzaklar: Sarı renkli ve her iki yüzeyi yapışkanla kaplı 15 x 20 cm boyutlarında pleksiglas levhalardan oluşturulan sarı yapışkan görsel tuzakların zararlılara karşı tarımsal mücadelede önemleri her geçen gün artmaktadır. Bu tuzakların sarı rengine yönelen *Cardiophorus* ve *Drasterius* cinslerine bağlı türlerin erginleri de yüzeydeki yapışkan maddeyle temas ettiğinde tuzak üzerine

yapışarak etkisiz kalmakta ve ölmeleri sağlamaktadır (Gülperçin & Tezcan, 2008).

13. TOPRAK STERİLİZASYONU (FUMİGASYON)

Toprak sterilizasyonu, telkurtlarının yoğun olduğu tarım alanlarında toprağa siyah plastik bir örtü uygulamayı, güneşin ısını buraya hapsedmeyi ve potansiyel olarak sıcaklığı telkurtlarının hayatta kalabileceği seviyenin üzerine çıkarmayı hedeflemektedir. Toprağın sterilize edilmesi için önerilen bir diğer uygulama ise *Sinapis alba* yetiştirilerek toprağa dahil edilmesidir. Toprağa karıştırılan *Sinapis alba*'nın dokularındaki kimyasalların parçalanmasıyla toprak sterilize edilerek telkurdu popülasyonları azaltılmaktadır (Anonymous, 2023).

Populasyonun yoğun olduğu durumlarda kireç / kükürt uygulaması da oldukça etkili bir yöntemdir; bu yöntem toprak biyolojisini geçici olarak etkilese de telkurtlarının ciddi zarara neden olduğu üretim alanlarında rahatlama sağlamaktadır. Kireç sülfürle yapılan toprak sterilizasyonunun bitki büyürken, bitkilere zarar vermeden yapılan tek etkili toprak sterilizasyonu olduğu bilinmektedir (Anonymous, 2023).

Telkurtlarını beslenerek zarar verdiği kültür bitkilerinden uzakta tutmak için bir dizi etkili koruma stratejisini incelemeyi amaçlayan bu çalışmada, telkurdu popülasyonunu düşürmek için doğal dengenin korunması açısından da uygulanması gereken koruyucu önlemler ele alınmıştır. Kimyasal madde kullanımına alternatif önlemlerin kombinasyonu ile planlanan koruma programlarında arazi-ürün-zararlı bir arada düşünülerek, telkurtlarına karşı çok yıllık koruma stratejilerinin uygulanmasıyla hedefe ulaşılacağı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKÇA

- Anonymous, 2021. Reduced-risk Wireworm Management in Potato. <https://agriculture.canada.ca/en/agricultural-production/agricultural-pest-management/agricultural-pest-management-resources/reduced-risk-wireworm-management-potato>. [Access date: 17 February 2024]
- Anonymous, 2022. Managing wireworms in vegetable crops. <https://www.ontario.ca/page/managing-wireworms-vegetable-crops>. [Access date: 10 March 2024]
- Anonymous, 2023. Controlling Wireworms: Seven Effective Strategies. <https://eutrema.co.uk/controlling-wireworms/>. [Access date: 23 March 2024]
- Anonymous, 2024a. Wireworm. <https://www.alberta.ca/wireworm>. [Access date: 12 April 2024]
- Anonymous, 2024b. Identification and management of wireworms in field crops. <https://ahdb.org.uk/knowledge-library/identification-and-management-of-wireworms-in-field-crops>. [Access date: 30 April 2024]
- Balachowsky, A. & Mesnil, L. (1935). Les taupins. In Les Insectes Nuisibles aux Plantes Cultivées; Balachowsky, A., Ed.; Presses éts Busson: Paris, France, pp. 754–787.
- Blackshaw, R. P., van Herk, W. G. & Vernon, R. S. (2018). Determination of *Agriotes obscurus* (Coleoptera: Elateridae) sex pheromone attraction range using target male behavioural responses: Pheromone attraction range of *Agriotes obscurus*. *Agricultural and Forest Entomology*, 20: 228–233.
- Blunck, H. (1925). Parasiten Der Elateridenlarven. *Zeitschrift Fur Angewandte Entomologie*, 11: 148–149.
- Bognar, S. (1955). *Pristocera depressa* a paralysing and destructive parasite of the wireworm, *A. obscurus*. *Novenytermeles*, 4: 241–252.
- Brandl, M. A., Schumann, M., Przyklenk, M., Patel, A. & Vidal, S. (2017). Wireworm damage reduction in potatoes with an attract-and-kill strategy using *Metarhizium brunneum*. *Journal of Pest Science*, 90: 479–493.
- Danışmazoğlu, M., Demir, I., Sevim, A., Demirbađ, Z. & Nalcacıoğlu, R. (2012). An investigation on the bacterial flora of *Agriotes lineatus* (Coleoptera: Elateridae) and pathogenicity of the flora members. *Crop Protection*, 40: 1–7.

- Davis, R., Karren, J. B. & Roe, A. H. (2020). Wireworms. Utah State University Extension, Factsheet, 1-5 pp.
- D'Aguilar, J. (1948). Sur *Paracodrus apterogynus* Hal. (Hym. Proctotrupidae), parasite des larves d'*Agriotes* en France. Bulletin de la Société entomologique de France, 53: 154–155.
- Fox, C. J. S. (1956). Some Carabidae and Staphylinidae shown to feed on a Wireworm. *Agriotes sputator* (L.), by the Precipitin Test I. Canadian Entomologist, 88: 228.
- Furlan, L. (1996). The biology of *Agriotes ustulatus* Schaller (Col., Elateridae). I. Adults and oviposition. Journal of Applied Entomology, 120: 269–274.
- Furlan, L. (2004). Tel kurtlarını hedef alan bir IPM yaklaşımı: neler yapıldı ve ne yapılması gerekiyor. İçinde: IOBC/WPRS Çalışma Grubu "Böcek Patojenleri ve Böcek Parazit Nematodları" Alt Grubu "Melolontha" Tutanakları, Innsbruck, Avusturya, 11-13 Ekim, s. 91–100.
- Furlan, L., Bonetto, C., Costa, B., Finotto, A. & Lazzeri, L. (2009). Observations on natural mortality factors in wireworm populations and evaluation of management options. IOBC/WPRS Bull., 45: 436–439.
- Furlan, L., Bonetto, C., Finotto, A., Lazzeri, L., Malaguti, L., Patalano, G. & Parker, W. (2010). The efficacy of biofumigant meals and plants to control wireworm populations. Industrial Crop Production, 31: 245–254.
- Furlan, L., Contiero, B., Chiarini, F., Benvegnù, I. & Tóth, M. (2020). The use of click beetle pheromone traps to optimize the risk assessment of wireworm (Coleoptera: Elateridae) maize damage. Scientific Reports, 10: 8780.
- Griffiths, D. C. (1974). Susceptibility of plants to attack by wireworms (*Agriotes* spp.). Annals of Applied Biology, 78: 7–13.
- Gülperçin, N. & Tezcan, S. (2008). Tarımda telkurtları. Ege Üniversitesi Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezi Çiftçi Broşürü: 62: 1-6.
- Hicks, H. & Blackshaw, R. P. (2008). Differential responses of three *Agriotes* click beetle species to pheromone traps. Agricultural and Forest Entomology, 10: 443–448.
- Hyslop, J. A. (2015). Wireworms attacking cereal and forage crops; U.S. Dept. of Agriculture: Washington, DC, USA, 1915.

- Kirk, D. A., Evenden, M. D. & Mineau, P. (1996). Past and current attempts to evaluate the role of birds as predators of insect pests in temperate agriculture. In *Current Ornithology*; Nolan, V., Ketterson, E.D., Eds.; Springer: Boston, MA, USA, pp. 175–269. ISBN 978-1-4613-7697-2.
- Kleespies, R. G., Ritter, C., Zimmermann, G., Burghause, F., Feiertag, S. & Leclerque, A. (2013). A survey of microbial antagonists of *Agriotes* wireworms from Germany and Italy. *Journal of Pest Science*, 86: 99–106.
- Kwon, M., Hahm, Y. I., Shin, K. Y. & Ahn, Y. J. (1999). Evaluation of various potato cultivars for resistance to wireworms (Coleoptera: Elateridae). *American Journal of Potato Research*, 76: 317–319.
- La Forgia, D., Jaffuel, G., Campos-Herrera, R., Verheggen, F. & Turlings, T. (2020). Efficiency of an attract-and-kill system with entomopathogenic nematodes against wireworms (Coleoptera: Elateridae). *IOBC/WPRS Bull.*, 150: 91–95.
- Langdon, K. W. & Abney, M. R. (2017). Relative susceptibility of selected potato cultivars to feeding by two wireworm species at two soil moisture levels. *Crop Protection*, 101: 24–28.
- Milosavljević, I., Esser, A. D., Murphy, K. M. & Crowder, D. W. (2019). Effects of imidacloprid seed treatments on crop yields and economic returns of cereal crops. *Crop Protection*, 119: 166–171.
- Nixon, G. E. J. (1938). A Preliminary revision of the British Proctotrupinae (Hym., Proctotrupoidea). *Transactions of the Royal Entomological Society of London*, 87: 431–465.
- Parker, W. E. & Howard, J. J. (2000). Assessment of the relative susceptibility of potato cultivars to damage by wireworms (*Agriotes* spp.). *Agrochemical Testing*, 21: 15–16.
- Poggi, S., Le Cointe, R., Lehmus, J., Plantegenest, M. & Furlan, L. (2021). Alternative strategies for controlling wireworms in field crops: A Review. *Agriculture*, 11: 436. <https://doi.org/10.3390/>
- Rabb, R. L. (1963). Biology of *Conoderus vespertinus* in the Piedmont Section of North Carolina (Coleoptera: Elateridae). *Annals of the Entomological Society of America*, 56: 669–676.

- Rondon, S. I., Vinchesi, A., Rashed, A. & Crowder, D. (2017). Wireworms: A pest of monumental proportions. Oregon State University Extension Service, EM. <https://catalog.extension.oregonstate.edu/sites/catalog/files/project/pdf/em9166>
- Salt, G. & Hollick, F. S. J. (1949). Studies of Wireworm Population: III. Some Effects of Cultivation. *Annals of Applied Biology*, 36: 169–186.
- Subklew, W. (1938). Die Bekämpfung Der Elateriden: Eine Übersicht Über Die Literatur. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*, 24: 511–581.
- Sufyan, M., Neuhoﬀ, D. & Furlan, L. (2013). Larval development of *Agriotes obscurus* under laboratory and semi-natural conditions. *Bulletin of Insectology*, 67: 227–235.
- Van Herk, W. G., Vernon, R. S., Cronin, E. M. L. & Gaimari, S. D. (2015). Predation of *Thereva nobilitata* (Fabricius) (Diptera: Therevidae) on *Agriotes obscurus* L. (Coleoptera: Elateridae). *Journal of Applied Entomology*, 139: 154–157.
- Van Herk, W. G. & Vernon, R. S. (2020). Local depletion of click beetle populations by pheromone traps is weather and species dependent. *Environmental Entomology*, 49: 449–460.
- Vernon, R. S., Blackshaw, R. P., van Herk, W. G. & Clodius, M. (2014). Mass trapping wild *Agriotes obscurus* and *Agriotes lineatus* males with pheromone traps in a permanent grassland population reservoir: Pheromone Trapping of *Agriotes* beetles. *Agricultural and Forest Entomology*, 16: 227–239.
- Zolk, K. (1924). *Paracodruss apterogynus* Halid. Kui tumeda viljanaksuri (*Agriotes obscurus* L.) toukude uus parasiit. *Tartu Ülikooli Entomoloogia Katsejaama Teadaanded*, 3: 10.

BÖLÜM 6

BİTKİ MİKROBİYOMU VE BİTKİ SAĞLIĞI İÇİN ÖNEMİ

Prof. Dr. Esin BASIM¹
Prof. Dr. Hüseyin BASIM²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13767860>

¹ Akdeniz Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Organik Tarım Bölümü, Antalya, Türkiye, esinbasim@akdeniz.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-9188-6609

² Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Antalya, Türkiye, hbasim@akdeniz.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-8059-3680

GİRİŞ

Bitki patojeni mikroorganizmalar bitkisel üretimde önemli ekonomik verim kayıplarına neden olmaktadır. Bitki hastalıkları ekonomik açıdan önemli olan ürünler üzerinde hem ticari hem de sosyal açıdan bir takım sıkıntılar ortaya çıkarabilmektedir. Bitki patojenleri tarım endüstrisi için büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Ekonomik açıdan önemli ürünlerin veriminin %40'a kadarı her yıl bitki patojenleri ve zararlılar nedeniyle kaybolmaktadır (FAO, 2019; Savary ve ark., 2019; Baldi ve La Porta, 2020). Bitki hastalıklarıyla ilişkili kayıplar yüksek bir ekonomik yük oluşturmaktadır ve tahmini yıllık ürün kaybı değeri yaklaşık 220 milyar dolar olarak bildirilmiştir (FAO, 2019).

Bitkilerde mikroorganizma toplulukları olarak ifade edilen mikrobiyomlar, rizosferde, filosferde ve endosferde yaygın olarak bulunur (Berg ve ark., 2014; Bulgarelli ve ark., 2012; Lundberg ve ark., 2012). Filosfer, mikroorganizmaların yaşayabileceği tüm toprak üstü bitki yüzeyleri (yapraklar, gövde, çiçekler ve meyveler) için kullanılan terimdir. Endosfer, çeşitli bitki dokularında yaşayan mikroorganizmaların mikrobiyal yaşam alanıdır. En iyi incelenen mikrobiyom bileşeni, bitkinin kökleriyle doğrudan ilişkili dar bir toprak bölgesi olan bitkinin rizosferidir (Hiltner, 1904). Bitki rizosferinde yalnızca prokaryotik organizmalar (örneğin bakteri ve arkeler) değil, aynı zamanda tek hücreli (örneğin protozoa) ve çok hücreli (örneğin nematodlar, funguslar) ökaryotlar ve virüsler de bulunur. Bu mikrobiyomların tümü bitki gelişmesinde önemli rol oynar.

İnsan ve hayvan hastalıkları ile mikrobiyom arasındaki ilişkilerin bazı çalışmalarla başarılı şekilde ortaya çıkarılması, bitki mikrobiyomu ve hastalıklar arasındaki ilişkilerin araştırılmasına dikkat çekmiştir (Poudel ve ark, 2016; Van Der ve Hartmann, 2016). Mikrobiyom çapında ilişkilendirme çalışmaları değişen mikrobiyom ile romatoid artrit, karaciğer sirozu, tip 2 diyabet, obezite ve kolorektal kanser dahil ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere insan hastalıklarının gelişimi

arasındaki bağlantıları araştırmak için yaygın olarak kullanılmaktadır (Wang and Jia., 2016). Mevcut çalışmalar, insan mikrobiyomu gibi bitki mikrobiyomunun da bitki gelişimini desteklemede, besin elementlerinin alımını kolaylaştırmada ve hastalıklara karşı bitkileri güçlendirmede önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir (Babalola, 2010).

Bitkinin mikrobiyomunda bulunan mikrobiyal organizmaların sayısının tipik olarak canlı bitki içindeki konukçu hücrelerden daha fazla olduğuna inanılmaktadır (Mendes ve ark., 2013). Organizmaların mikrobiyomu, konukçularla ilişkili mikroorganizmaların çeşitlilik ve sayılarından dolayı çok daha fazla protein kodlama ve metabolomik potansiyele sahip olduğu genomlarının bir uzantısıdır. Bitkinin mikrobiyomunda bulunan mikroorganizmalar, tarımsal açıdan bitkilerin gelişmesinde, besin maddelerinin bitki tarafından etkin elde edilmesinde, bitki stresinin azaltılmasında ve bitki hastalıklarının bastırılması da dahil olmak üzere birçok hayati olayda rol oynar. Ayrıca bitkiler ve mikroorganizmalar çevredeki kirletici maddelerin iyileştirilmesine koordineli bir şekilde yardımcı olabilir.

Bitkinin mikrobiyomu içindeki organizmaların kompozisyonunu etkileyebilecek hem biyotik hem de abiyotik birçok faktör vardır. Kuraklık, tuzluluk, ağır metal kirliliği ve pH gibi abiyotik çevresel faktörler bitki büyümesini ve bitki mikrobiyomunun kompozisyonunu etkileyebilir. Benzer şekilde, kimyasal gübrelerin ve pestisitlerin varlığı gibi tarımsal uygulamalar, bitki mikrobiyomunun bileşimini değiştirebilir ve bazı durumlarda antimikrobiyal dirençli bakterileri seçebilir. Ayrıca istilacı patojenler veya bitki büyümesini teşvik eden organizmaların uygulanması gibi biyotik faktörler de bitki mikrobiyomunun kompozisyonunu etkileyebilir.

Yaklaşık yüzyıldır bilim insanları toprak mikrobiyomunun önemini belirtmektedirler (Waksman, 1927); ancak yakın zamana kadar bitkilerin mikrobiyomunun tamamının karmaşıklığı yeterince anlaşılammıştır. Bunun nedeni, toprak mikroorganizmalarının sadece

küçük bir yüzdesinin laboratuvar koşullarında kültüre alınabilir olmasıdır (Stewart ve ark., 2012). Bununla birlikte, yüksek verimli DNA dizileme teknolojilerindeki ilerlemeler ve dizileme maliyetlerinin giderek azalması sayesinde (Pettersson ve ark., 2009), artık toprakta bulunan mikroorganizmaların çeşitliliğini belirlenebilmektedir. Çevre-bitki-mikrobiyom ekseninin dinamik etkileşimlerinin daha iyi anlaşılması, belirli koşullar altında bitki gelişimini artırmak için bitki mikrobiyomunun bilgi odaklı olarak hassas bir şekilde uygulamasına olanak sağlayacaktır.

Bu derleme, bitki mikrobiyomun ve özellikle bitki rizosferindeki mikroorganizmaların kendi aralarında olduğu kadar, konukçu ve çevre ile olan etkileşimlerini ortaya koyarak mikrobiyom ve bitki sağlığı için önemi konusunda bilgi vermeyi amaçlamaktadır.

1. BİTKİ MİKROBIYOMUNUN İÇERİĞİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Bitki mikrobiyomu tarımsal uygulamaların yanı sıra birçok abiyotik ve biyotik faktörden de etkilenmektedir. Bu faktörler, mikrobiyomu bitkinin yararına veya aleyhine şekillendirebilecek ve değiştirebilecek karmaşık bir yapı oluşturabilmektedir. Uzun yıllardır hem biyotik hem de abiyotik faktörlerin bitki büyümesi üzerindeki sonuçlarını biliyorduk ve şimdi yeni nesil dizilemedeki ilerlemeler sayesinde bu streslerin bitkinin mikrobiyomu üzerindeki etkisini takdir edebiliyoruz. Şu anda, abiyotik faktörlerin (örneğin tuzluluk, kuraklık, pH, su baskını ve ağır metal kirliliği) ve bakterilerin bitki mikrobiyomu üzerindeki katkısı iyi bir şekilde incelenmiştir (Ambrosini ve ark., 2016; Frossard ve ark., 2018; Lareen ve ark., 2016; Naylor ve ark., 2017; Thiem ve ark., 2018). Ancak yakın zamana kadar hem virüslerin (bakteriyofajlar) hem de mantarların doğal mikrobiyom üzerindeki etkisi daha az anlaşılmıştır (Busby ve ark., 2016; Koskella ve Taylor, 2018; Morella ve ark., 2018; van der Heijden ve Hartman, 2016). Son olarak, konakçı bitkinin genotipinin ve doğuştan gelen bağışıklık sisteminin,

mikrobiyomunun şekillenmesinde oynadığı rolü de takdir etmeye başlıyoruz (Hacquard ve ark., 2017; Haney ve ark., 2015; Lebeis ve ark., 2015).

1.1. Abiyotik faktörler

1.1.1. Kuraklık

Kuraklık, tarımda büyük bir çevresel stres etkenidir ve her yıl yıkıcı kayıplara neden olur (Lesk ve ark., 2016). Kuraklığın bitkiler üzerindeki etkisi kapsamlı olarak araştırılmıştır ancak kuraklığın bitki mikrobiyomu üzerindeki etkisine ilişkin çok fazla araştırma bulunmamaktadır. Açıkçası kuraklık, bitki ve mikrobiyom biyokütlesinde net bir azalmaya neden olur (Bastida ve ark., 2017; Naylor ve Coleman-Derr, 2018). Mikrobiyomda kurak alanlara doğal olarak hakim olan kuraklığa adapte olmuş bakterilerin örnekleri arasında Proteobakteriler, Bacteroidetes ve Firmicutes filumlarından üyeler yer alır (Soussi ve ark., 2016).

Bitki mikrobiyomunun birçok yönü, bitkiyi kuraklık stresine karşı koruma yetenekleri açısından incelenmiştir. *Asinetobakter* ve *Pseudomonas* bakteri izolatlarının, muhtemelen 1-aminosiklopropan-1-karboksilat (ACC) deaminaz sentezi yoluyla kuraklığın neden olduğu fotosentez inhibisyonunu azalttığı, böylece kuraklığa maruz kalan asmalarda kök ve sürgün biyokütlesindeki azalmayı hafiflettiği bulunmuştur. Ancak bu bakteri suşları iyi sulanan bitkilerde büyümeyi desteklememiştir (Rolli ve ark., 2015). Bu, kontrol bitkilerinde büyüme teşvikinin eksikliği diğer çalışmalarda görülmemesine rağmen, spesifik olarak bakteriler ve kuraklık koşulları arasında etkileşimlerin olduğunu göstermektedir (Chakraborty ve ark., 2013; Redman ve ark., 2011). Yarı kurak iklimlerde *Bacillus thuringiensis* IAM 12077 ile aşılanan birden fazla bitki türü üzerinde yapılan bir başka çalışma, bitki büyümesi ve besin kazanımı üzerinde olumlu etkiler yarattı (Armada ve ark., 2018). Bitkinin kuraklığa direncini destekleyen çoğu bakteri bunu metabolizma

ve besin üretimi yoluyla, etilen üretimini azaltarak ve kök suyu alımını artırarak gerçekleştirme eğilimindedir (Armada ve ark., 2018; Gagné-Bourque ve ark., 2016; Marasco ve ark., 2013; Rolli ve ark., 2015).

1.1.2. Tuzluluk

Tuzluluk, bitki hücrelerinde besin alımı dengesizliklerine neden olan ozmotik kuvvetleri değiştirerek bitki sağlığı üzerindeki olumsuz etkisi nedeniyle tarımda dikkate alınması gereken önemli bir faktördür (Yaish ve Kumar, 2015). Aynı zamanda kurutma ve hücre lizisi yoluyla bitki mikrobiyomunda mikroorganizmaların biyokütlesini azaltır, böylece halofitik mikroplar yüksek oranda tuzlu topraklara hakim olma eğiliminde olduğundan tuzluluk mikrobiyom kompozisyonunu önemli ölçüde etkiler (Yan ve ark., 2015). Bazı mikorizal funguslar bitkilerde sodyum ve kalsiyum iyonu translokasyonunu artırmaya ve büyümeyi artırmaya yardımcı olabilir, ancak yüksek tuzluluk seviyeleri aynı zamanda mikorizal birleşmeyi de engelleyerek onları daha az etkili hale getirir (Hryniewicz ve ark., 2015; Thiem ve ark., 2018). Dahası, tuzluluk aynı zamanda mikorizal kolonizasyonu, hif büyümesini ve çimlenmeyi azaltarak mantar büyümesini engeller ve bitki mikrobiyomu birbirine bağlı mikroplardan oluşan karmaşık bir ağ olduğundan mantarlarla etkileşime giren diğer birçok yönü değiştirir (Hameed ve ark., 2014). Ancak tuzluluğun etkisi mantarlara kıyasla bakteriler üzerinde daha etkili görünmektedir (Thiem ve ark., 2018). Çoğu bakteri yüksek tuzlu ortamlara adapte olmadığından topraktaki artan tuzluluk, bakteri zenginliğini ve çeşitliliğini önemli ölçüde azaltıyor gibi görünüyor (Thiem ve ark., 2018; Yaish ve ark., 2016). Yüksek tuzlu topraklarda genel olarak Alfaproteobakteriler azalma eğilimindedir ve Aktinobakteriler baskın olma eğilimindedir (Kim ve ark., 2019; Mukhtar ve ark., 2016; Thiem ve ark., 2018; Yaish ve ark., 2016). Tuzlu topraklarda yetiştirilen bitkilerin gelişmesini teşvik eden bakterilerin izole edilmesi, çevre dostu bir seçenek olarak bu bakterilerin tuz stresi bulunan topraklarda kullanılması bitkilerin daha iyi geliştirilmesi için

büyük önem taşımaktadır. Örneğin Fatima ve ark. (2020), tuzlu toprak izolatu *Alcaligenes* sp. AF7' nin farklı tuzluluk oranlarında çeşitli bitkilerin gelişmelerini teşvik edici özelliklere (örneğin, eksopolisakkaritler, indol-3-asetik, gibberellik asit ve sideroforların üretimi) sahip olduğunu ve tuzlu topraklarda çeltik bitkilerinin gelişmesini iki kattan fazla arttırdığını ortaya çıkarmışlardır. Tuzluluk stresi bulunan topraklar üzerinde daha fazla araştırma yapılarak farklı bitki rizosfer mikrobiyomlarından diğer önemli halotolerant mikroorganizmalar ortaya çıkarılabilir.

1.1.3. Ağır metal kirliliği

Bitki mikrobiyomunda ağır metal kirliliği, kadmiyum, kurşun, çinko ve krom kullanılarak yapılan birçok çalışmada gösterildiği gibi, mikrobiyal çeşitliliği ve operasyonel taksonomik birim (OTU) sayısını azaltma eğilimindedir (Gołębiewski ve ark., 2014; Hur ve ark., 2011; Jiao ve ark., 2019; Sheik ve ark., 2012). Ancak bakır üzerinde yapılan bir çalışmada, uzun süreli bakıra maruz kalan bakterilerin çeşitliliğinin değiştirmedini, bunun yerine sadece bazı bakterilerin değiştirdiğini, özellikle Asidobakteriler ve Gemmatimonadetes'in popülasyonunu arttırdığı, diğer tüm bakteri gruplarının popülasyonunun ise azalması sebebiyle tüm metallerin OTU üzerine etkilerinin aynı olmadığı belirlenmiştir (Berg ve ark., 2012). Bu, farklı metallerin mikrobiyom üzerinde farklı etkileri olduğu anlamına gelir; çeşitlilikte ve OTU sayımlarında değişikliklere neden olmada en etkili olanı çinkodur, bunu kadmiyum ve kurşun takip eder (Golbebievski ve ark., 2014; Hur ve ark., 2011). Metallerin mikrobiyomun çeşitli üyeleri üzerindeki etkileri henüz tam olarak anlaşılammıştır, ancak bitkisel ekstraksiyon yoluyla ağır metallerin azaltılmasına yardımcı olmak için bitki büyümesini teşvik eden mikropların kullanımı, kanıtlanmış etkinliği nedeniyle tarımda yaygın olarak kullanılma potansiyeline sahiptir (Chen ve ark., 2016; Gil-Martinez ve ark., 2018; Mnasri ve ark., 2017). Ek olarak, *Pantoea agglomerans* C1 izolatu ile arsenat (Luziatelli ve ark., 2020),

Alcaligenes faecalis Cd1- 1, Ag1- 1, Ag1- 3 ve Sn1- 1 izolatları dahil olmak üzere bazı bitki büyümesini teşvik eden mikroorganizmalar ağır metallere karşı yüksek tolerans göstermiştir. Al³⁺, Ag²⁺, Cd²⁺, Cu²⁺, Pb²⁺ ve Sn²⁺ (Abo-Amer ve ark., 2015) ve *Alcaligenes faecalis* MG257493.1, *Alcaligenes faecalis* MG966440.1 ve *Bacillus cereus* MG257494.1 ila Cu²⁺, Cd²⁺, Pb²⁺ ve Zn²⁺ (El-Meihy ve ark., 2019). Dolayısıyla bu izolatlar ağır metal kirliliği durumunda bitki gelişmesini teşviklemek amacıyla kullanılabilir. Ağır metallerin mikrobiyom üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yönelik daha fazla araştırma yapılarak, tarımsal uygulamalarda biyoremediasyon ile ilgili diğer aktörleri ortaya çıkarabilir.

1.1.4. pH

Toprak pH'ı bitki mikrobiyom kompozisyonunun belirlenmesinde önemli bir faktördür ve aynı zamanda ağır metal alımını da etkiler. Toprak pH'ı, rizobakteriyel bileşimin en büyük çevresel belirleyicilerinden biridir; bakteri türlerinin küçük pH değişiklikleriyle yakından değiştiği, fungus türlerinin ise pH değişiklikleriyle yalnızca zayıf bir şekilde bağlantılı olduğu bulunmuştur (Deng ve ark., 2018; Rousk ve ark., 2010). Bunun örnekleri arasında, düşük pH'lı topraklarda Asidobakteri alt gruplarının ve yüksek pH'lı topraklarda Alfa ve Gama-proteobakterilerin baskın olduğunu tanımlayan çalışmalar yer alırken, düşük pH'lı topraklarda arbusküler mikoriza mantarlarının daha düşük frekanslarının bulunduğunu tespit eden çalışmalar yer alır (Qi ve ark., 2018; Rousk ve ark., 2010; Young ve ark., 2018).

Bakteriyel çeşitliliğin de daha asidik pH ile azaldığı bulunmuştur (Yun ve ark., 2016). Bakterilerdeki pH değişimine karşı bu aşırı hassasiyet, muhtemelen çoğu bakterinin dar optimal pH aralıklarına sahip olmasından ve besin bulunabilirliğindeki değişikliklerden kaynaklanmaktadır (Fernandez-Calvino ve Baath, 2010; Qi ve ark., 2018; Yun ve ark., 2016). Çok alkali topraklarda mineral alım yeteneğinin azalması nedeniyle bitki gelişimi engellenebilir, çok asitli

topraklarda ise toksik ağır metallerin aşırı alımı nedeniyle bitki zarar görebilir (George ve ark., 2012; Tözser ve ark., 2017).

Mikrobiyom bitkinin sağlığı ve büyümesiyle yakından bağlantılı olduğundan mikrobiyom pH'tan dolayı olarak da etkilenir. Bitkilerde alkalın stresini hafifletme konusunda umut vaat eden bazı bitki büyümesini teşvik eden bakteriler tespit edilmiştir. Alkali topraklardan bitki büyümesini teşvik eden üç bakterinin (*Alcaligenes* sp. NBRI NB2.5, *Bacillus* sp. NBRI YE1.3 ve *Bacillus* sp. NBRI YN4.4) mısır biyokütlesini ve çimlenmesini arttırdığı bildirilmiştir (Dixit ve ark., 2020).

1.2. Tarımsal uygulamalar

1.2.1. Ürün rotasyonu

Bitki verimini ve kalitesini artırmak için halihazırda kullanılan bazı yaygın tarımsal uygulamalar arasında; ürün rotasyonu, doğal (örneğin deniz yosunu ürünleri ve gübre) ve kimyasal gübrelerin, faydalı mikroorganizmaların veya transgenik bitkilerin kullanımı yer almaktadır. Ürün rotasyonunun faydaları uzun bir süredir bilinmektedir ve hastalıkları baskılayan toprakların oluşturulmasını (Peters ve ark., 2003) ve topraktaki besin maddelerinin artırılmasını (Stevenson ve Kessel, 1996) içermektedir ve bunların her ikisi de bitki gelişimini hızlandırmaktadır. Ancak ürün rotasyonunun topraktaki mikrobiyal topluluklar üzerindeki etkisi uzun süredir anlaşılammıştır. Ürün rotasyonunun bitkinin rizosferinde ve yakınındaki topraktaki mikrobiyal toplulukları nasıl etkilediğini inceleyen önemli çalışmalar bulunmaktadır (Breidenbach ve ark., 2017; Maarastawi ve ark., 2018). Örneğin, Buğday ekim rotasyonunda yüksek sıklıkta baklagil bitkisi kullanmanın toprak nitrojen düzeylerini arttırdığını ancak rizobakteriyel topluluk bileşimi üzerinde çok az etkisi olduğu gösterilmiştir (Hamel ve ark., 2018). Ürün rotasyonunun genel olarak mikrobiyal zenginliği ve çeşitliliği arttırdığını ve daha uzun rotasyon denemelerinin mikrobiyal zenginlik üzerinde

daha büyük olumlu etkilere sahip olduğu ortaya çıkarılmıştır (Venter ve ark., 2016). Ürün rotasyonunun hastalık direncini arttırdığına ilişkin mekanizma/meکانizmaların daha fazla aydınlatılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

1.2.2. Gübre uygulaması

Çiftçiler uzun yıllardır ürünlerine hem doğal hem de kimyasal gübreler uygulamaktadırlar. Ancak bu gübrelerin topraktaki mikrobiyal bileşim üzerindeki etkisi tam olarak anlaşılammıştır. Bugüne kadar yapılan araştırmalar, gübrenin tanımlanmış kimyasal bileşenleri nedeniyle kimyasal gübrelerin bitki mikrobiyomu üzerindeki etkisine odaklanmıştır. Yeoh ve ark. (2016), azaltılmış miktarda nitrojen gübrelemesinin şeker kamışı mikrobiyomu üzerinde çok az etkisi olduğunu, ancak bunun hem bitki biyokütlesinin hem de nitrojen içeriğinin azalmasına neden olduğunu ortaya çıkarmıştır. Oysa yüksek nitrojen gübrelemesi bitki biyokütlesini ve nitrojen içeriğini düzenlediği ve topraktaki nitrifikasyon ve denitrifikasyon genlerini arttırmıştır. Lang ve ark. (2018) mısır bitkisinde yaptıkları çalışmada fazla fosforlu gübre uygulamasının bakteriyel zenginliği azalttığı, ancak artan gübre uygulamasıyla hem fungus hem de bakteri gen kopyalarının arttığını göstermiştir. Sonuç olarak, fazla gübre uygulaması mikrobiyal topluluk çeşitliliğini azalttığı ancak yüksek nitrojen ve fosfor uygulamalarının toleranslı mikroorganizmaları seçtiği tespit edilmiştir.

1.3. Biyotik faktörler

1.3.1 Konukçu bitki

Bitkiler doğal ortamlarında yaşamın her üç alanına ait birçok organizma ile sürekli temas halindedir. Tüm bitkiler, istilacı mikroorganizmaları tanıyabilen ve potansiyel fitopatojenlere karşı etkili bir savunma oluşturabilen bir bağışıklık sistemine sahiptir. Bitkinin bağışıklık sistemi, mikrobiyomunda bulunan mikrobiyal türlerin modüle edilmesinde önemli bir rol oynar (Hacquard ve ark., 2017). Lebeis ve

ark. (2015), normal bir kök mikrobiyomu oluşturmak için salisilik asitin (SA) biyosentezi ve sinyal yolunun gerekli olduğunu ve SA' in, belirli bakteriler tarafından kökün kolonizasyonunu modüle ettiğini bildirmişlerdir.

Bitkilerin mikrobiyomu üzerinde etkisi olan diğer faktörler ise konukçu genotipi ve yaşıdır (Wagner ve ark., 2016). Haney ve ark. (2015), bitki kök salgı içerikleri ile rizosfer bakterilerinin bitkilerden salgılanan aromatik organik asitlerin tüketimine yönelik genom dizilimi arasında bir etkileşim olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Bu bulgu konukçu bitkilerden gelen kimyasalların rizosferdeki mikrobiyal topluluğun bir araya gelme sürecini nasıl etkilediğine yeni bir ışık tutmuş olup ve bitki gelişmesini teşvik etmek için faydalı mikrobiyomların kullanımı gibi çekici bir yaklaşım sağlamıştır.

1.3.2. Mikroorganizmalar

Bakteriler, önemleri, büyük etkileri ve bitki gelişimini teşvik etme potansiyelleri nedeniyle bitki mikrobiyomunun en ayrıntılı şekilde karakterize edilen kısmıdır. Bitki mikrobiyomun bakteri bileşimi, bitki türü, genotip, yaşam döngüsü aşaması, köklere yakınlık ve toprak tipindeki farklılıklara göre büyük ölçüde farklılık gösterir (Bulgarelli ve ark., 2015; Gaiero ve ark., 2013; Inceoglu ve ark., 2011; Sasse ve ark.,2018) Çoklu karakterizasyon analizlerinde görüldüğü gibi, rizosferde baskın olma eğiliminde olan filumlar arasında Actinobacteria, Proteobakteriler, Kloroflexi ve Firmicutes yer almaktadır (Bodenhausen ve ark., 2013; Bulgarelli ve ark., 2015; Suarez-Moo ve ark., 2019; Veach ve ark., 2018). Filosfer tipik olarak daha fazla Asidobakteri içerir. Bu grup bakteriler Gram-negatif bakterilerde sideroforların periplazmaya taşınmasında rol alan TonB'ye bağımlı reseptörlerin yüksek düzeyde ekspresyonu, agregat oluşumu, biyosüpfaktan üretimi ve metanol, amino asitler ve şekerlerin metabolik kullanımı gibi uyarlanmış işlevlere sahip oldukları bildirilmiştir (Delmotte ve ark., 2009; Vorholt, 2012).

Bakteriler karmaşık, birbirine bağlı mikrobiyomun çekirdeğini oluşturduğundan, mikrobiyomun diğer üyelerini önemli ölçüde etkilerler. Bu etkiler, bakterilerin koruma amacıyla bir yüzeye veya birbirine bağlanabildiği biyofilm oluşumu gibi sinerjistik etkilerden kaynaklanabileceği bildirilmiştir (Buonaurio ve ark., 2015). Bitki mikrobiyomunda bakteri türleri arasındaki diğer simbiyotik ilişkiler arasında çekirdek mikrobiyomunu algılama sinyali ve metabolit paylaşımı aktiviteleri ortaya çıkarılmıştır (Passos da Silva ve ark., 2014). Bitki mikrobiyomunda bulunan bakteriler arasındaki faydalı ilişkiye örnek olarak zeytin dal kanseri hastalığının görüldüğü zeytin ağaçlarındaki mikrobiyom ilişkileri verilebilir. Zeytin dal kanseri etmeni, *Pseudomonas savastanoi* pv. *savastanoi*'nin popülasyonunun aynı ortamda bulunan ve patojen olmayan bakteri türleri olan *Pantoea agglomerans* ve *Erwinia toletana* artmasına sebep oldukları ve buna bağlı olarak dal kanseri hastalığının şiddetinin artmasına neden olduğu tespit edilmiştir (Hosni ve ark., 2011; Passos da Silva ve ark., 2014). Bakterilerin bitki mikrobiyomunda bulunan diğer bakteriler üzerindeki etkileri aynı zamanda engelleyici de olabilir. Örneğin, bir araştırma sonucuna göre domates solgunluğu hastalığı etmeni *Ralstonia solanacearum*'un enfeksiyon sırasında bitki mikrobiyomunda Actinobacteria, Bacteroidetes, Verrucomicrobia, Cyano-bakteri ve diğer bakteri filumlarının popülasyonunda bir azalmaya neden olduğunu ortaya çıkarılmıştır (Wei ve ark., 2018). Ayrıca, *R. solanacearum*'un kendisinin de birçok *Pseudomonas* türü tarafından inhibe edildiği, patojen yoğunluğunu ve hastalık şiddetini azalttığı bulunmuştur (Hu ve ark., 2016). Bu antagonist etkileşimler, türler arasındaki rekabetten ve uzun vadeli karmaşık hastalık dinamiklerinden kaynaklanabilir. Diğer bakterileri engelleyebilen spesifik bir mekanizma, bazı bakterilerde bulunan ve toksik proteinlere sahip ökaryotik ve prokaryotik hücreleri hedef alan tip VI salgı sistemidir (T6SS). T6SS'yi kullanan *Pseudomonas putida*'nın *Nicotiana benthamiana* yapraklarında

Xanthomonas campestris'i inhibe ederek *X. campestris*'in patojenitesini azalttığı bulunmuştur (Bernal ve ark., 2017).

Bitki mikrobiyomu içinde bulunan mikroorganizmlar arasında gerçekleşen karmaşık etkileşimlerden bitki daha fazla etkilenir.

Bakterilerin ayrıca funguslarla geniş ölçüde etkileşime girdiği, fungus popülasyonlarını etkilediği belirlenmiştir. Bakteriye bağlı fungus popülasyonlarında ortaya çıkan değişimlerin ekim yapılmayan koşullarda da görüldüğünden, bu etkileşimin büyük ölçüde bitkiden bağımsız olduğu bilinmektedir (Duran ve ark., 2018). Bitki mikrobiyomunda bulunan bakteriler, funguslar üzerinde faydalı veya engelleyici etki gösterebilir. *Burkholderia* cinsi bakterilerin, simbiyoz yoluyla arbusküler mikorizal fungusların (AMF) popülasyonunu büyük ölçüde artırabilir, ancak bunun tersine *P. fluorescens*, fungal gelişmeyi baskılayabilir (Banerjee ve ark., 2018). Bitki mikrobiyomunda fungusların gelişmesinin bakteriler tarafından engellenebilmesi genellikle bakteriler tarafından üretilen metabolitler yoluyla olduğu bilinmektedir. Örneğin, *Pseudomonas piscium*'un, enfeksiyon sırasında protein aktivitesini hedefleyerek patojenik fungus *Fusarium graminearum*'u inhibe eden bir bileşik olan fenazin-1-karboksamid salgıladığı bulunmuştur (Chen ve ark., 2018). Bitki mikrobiyomunda simbiyotik ilişkiler aynı zamanda bakteri ve funguslar arasında, özellikle AMF arasında olduğu bildirilmiştir (Braga ve ark., 2016; Banerjee ve ark., 2018; Kemen, 2014; van der Heijden ve ark., 2016). *Rhizopus* spp.' in pirinç fidelerinde yanıklık belirtileri ve sporlar üretebilmek için *Burkholderia* spp' nin aktivitesine bağımlı olduğu bir endosimbiyotik ilişkiye sahip oldukları ortaya çıkarılmıştır (Braga ve ark., 2016). Bu çalışmalar, bitki mikrobiyomunda yer alan bakteri ve fungal topluluklarının birbirlerinin bileşenleri üzerinde karşılıklı etkilere sahip olduğunu göstermiştir.

Bitki mikrobiyomu ile ilgili olarak funguslar üzerine yapılan araştırmaların çoğu, bitki gelişmesini teşvik etme potansiyeli üzerine

olmasına rağmen, fungusların bitki mikrobiyomunda diğer mikroorganizmalar üzerindeki etkilerine dair bazı bulgular bulunmaktadır. Bitki mikrobiyomunda bakterilere yönelik fungus etkileşimlerinin çoğu karşılıklı olarak faydalı görünmektedir. Örneğin, bir çalışma, çeşitli AMF türlerinin, bakteri popülasyonunu arttıran ve mikrobiyom kompozisyonunu değiştiren eksudatları üretebildiğini, gözlemlenen en büyük artışın Gammaproteobakterilerde olduğu ortaya çıkarılmıştır (Lindahl ve ark., 2007). Fungusların bitki mikrobiyomunda bakterileri etkileyebilmesinin bir başka yolu, bakteriyel tutunmayı teşvik eden hifleri yoluyla bakteriyel kök kolonizasyonunu kolaylaştırmaktan kaynaklanmaktadır (Artursson ve ark., 2005). Fungal patojen, *Rhizoctonia solani*'nin enfeksiyon sırasında oksalik asit ve fenilasetik asit ürettiği, bu bileşiklerin hastalık baskılayıcı topraklarda Oxalobacteraceae, Burkholderiaceae, Sphingobacteriaceae ve Sphingomonadaceae üyesi bakterilerin popülasyonunu dolaylı olarak arttırdığı bulunmuştur (Chapelle ve ark., 2016).

Genel olarak, bitki mikrobiyomunda farklı funguslar arasındaki etkileşimlerin tahmin edilmesi zordur. Çünkü; bunlar toprak türü, konukçu bitki ve diğer çevresel koşullar gibi çok sayıda faktöre bağlıdır (Engelmoer ve ark., 2014; Verbruggen ve ark., 2012).

Bitki mikrobiyomunda bakteriyofajlar bakterilere özgü virüslerdir ve biyosferde oldukça bol miktarda bulunurlar (Buttimer ve ark., 2017). Aslında bitki mikrobiyomunda virüslerin sayısının prokaryotlardan çok daha fazla olduğu tahmin edilmektedir (Parikka ve ark., 2017). Bu nedenle, çalışmaların mera topraklarındaki bakterilerin ortalama %8,9-12,1'inin ve suyla dolu pirinç tarlalarındaki bakterilerin ortalama %23'ünün bakteriyofajlarla enfekte olduğu bulunmuştur (Bowatte ve ark., 2010; Takahashi ve ark., 2011). Bazı bakteriyofajlar doğal olarak bitki mikrobiyomunda bulunan patojenleri hedef alır ve bu da onları hastalıkların önlenmesi yoluyla bitki gelişimini desteklenmesinde kullanım açısından cazip hale getirmektedir (Bhunchoth ve ark., 2015).

Bitki mikrobiyomunda bakteriyofajların karakterizasyonu zordur çünkü bakteriler gibi 16S rRNA belirteçlerine sahip değildirler. Kimliklendirme bunun yerine birkaç korunmuş işaretleyici genlere dayanır ve bu nedenle bunlar yeterince anlaşılabilir değildir (Koskella ve Taylor, 2018; Morella ve ark., 2018; Steward ve ark., 2012; Stough ve ark., 2018).

Bakteriyofajlar, bakterilerle etkileşimleri yoluyla bitki mikrobiyomunu birçok şekilde değiştirebilir. Özellikle, litik bakteriyofajlar hedefledikleri bakterilerin popülasyon büyüklüğünü etkileyerek bitki mikrobiyomunda bulunan diğer organizmalarda zincirleme reaksiyona neden olabildiği bildirilmiştir (Buttimer ve ark., 2017; Koskella ve Meaden, 2013; Morella ve ark., 2018). Bu etki genellikle bakteriler ve bakteriyofajlar arasında ortak varyasyonlara neden olduğu ve bakterilerin sonunda bu etkileşime karşı direnç kazanarak uyum sağlayabildiği düşünülmektedir (Koskella ve Brockhurst, 2014; Koskella ve Taylor, 2018). Bakteriyofajlar aynı zamanda yatay gen transferi yoluyla bitki mikrobiyomunda bulunan bakterileri de önemli ölçüde etkilemektedir. Bakteriyel genleri yanlışlıkla bir konukçudan diğerine transfer edebilir. Bu süreç, bitkinin bakteri kolonizasyonunun başarısını ve dolayısıyla bitki sağlığını da değiştirir çünkü aktarılan genler bakterinin farklı ortamlarda hayatta kalmasına fayda sağlayabildiği bildirilmiştir (Koskella ve Taylor, 2018; Varani ve ark., 2013). *Pectobacterium*, *Pseudomonas*, *Ralstonia* ve *Streptomyces* cinslerinden bazı bakteriyel bitki patojenlerinin hastalık belirtilerinde profajları veya bakteriyofajlardan gelen genetik bilgiyi içerdiği gösterilmiştir (Varani ve ark., 2013). Bu nedenle bakteriyofajlar, lizis yoluyla bakteriler üzerinde olumsuz etkiler gösterebilir, ancak aynı zamanda birçok patojenik bakteriye de yardımcı olabilirler ve adı geçen bakterilerin neden olduğu bitki hastalıklarının evrimsel gelişimi için önemli olabilirler.

Archaealar, bitki mikrobiyomu ile ilgili olarak yeterince çalışılmamış olsa da mikrobiyomun önemli bileşenleridir ve bitki büyümesinin teşvik edilmesinde kullanım açısından büyük potansiyele sahiptir. Genellikle çevreleri ve diğer mikrobiyal canlılarla yakın etkileşimleri yoluyla bitkilerle simbiyotik ilişkiler kurabilirler (Moissl-Eichinger ve ark., 2018). Bataklık ekosistemindeki bitkiler üzerinde yapılan çalışmalarda, arkelerin bitki ve funguslarla etkileşime girerek besin tedariki ve değişiminin yanı sıra bitkinin ikincil metabolit üretimini etkilediği bulunmuştur (Taffner ve ark., 2018). Archaea'nın bitki büyümesini teşvik etme yetenekleri kapsamlı bir şekilde araştırılmamıştır, ancak arkelerin tarımda potansiyel kullanımına yönelik diğer yöntemler halihazırda keşfedilmiştir. Fotosentezde çoğunlukla hız sınırlayıcı olan karbondioksit sabitleme adımı için gerekli olan fotosentetik olmayan Rubisco'yu (Ribuloz-1,5-bifosfat karboksilaz) üreten Archaeon *Methanococcoides burtonii*'nin kullanıldığı tütün bitkileri üzerinde yapılan bir çalışmada, fotosentez oranlarını ve bitki büyümesini arttırdığı belirlenmiştir (Wilson ve ark., 2016). Arkelerin bitki gelişmesini teşvik ettiği tespit edilen diğer yöntemler arasında oksin biyosentezi, besin temini ve abiyotik strese karşı koruma yer almaktadır (Smith-Moore ve Grunden, 2018; Taffner ve ark., 2018). Bununla birlikte, amonyak oksitleyici arkeal gen varlığının toprak verimliliği ile negatif ilişkili olduğu ve bazı organizmaların çoğalmasını engelleyebilecek yüksek pH ile daha güçlü pozitif korelasyona sahip olduğu bulunmuştur (Delgado-Baquerizo ve ark., 2013; Thion ve ark., 2016).

2. BİTKİ MİKROBİYOM ÇALIŞMALARINI SINIRLAYAN FAKTÖRLER

Bitki mikrobiyomuna özgü olmayan diğer sınırlamalar arasında, farklı sıralama protokollerinin kullanılması, analiz yöntemlerinin seçimi ve istatistiksel metodoloji nedeniyle aynı sonuçların elde edilebilmesinde yaşanan sorunlar yer almaktadır. Dünya Mikrobiyomu

Projesi (EMP) (Caporaso ve ark., 2011), Mikrobiyom Kalite Kontrol projesi (MBQC) (Sinha ve ark., 2017) ve Uluslararası Mikrobiyom Standartları grubu (Costea ve ark., 2017) tarafından yapılan çalışmalar standartlaştırılmış DNA dizileme protokollerinin oluşturulabilmesi için mevcut sorunun çözülmesine yardımcı olmuş, ancak ekstraksiyon ve dizileme protokolleri bu alanda hala tutarsızdır ve tüm protokoller her ortam için kullanılamaz durumda olduğu bir gerçektir. Verilerin biyoenformatik olarak analiz edilmesi, farklı operasyonel taksonomik birim kümeleme stratejilerini ve biyolojik sonuçları etkileyebilecek sekans stratejilerini tercih eden farklı çalışmalarla hala standartlaştırılmamıştır (Caruso ve ark., 2019; Nearing ve ark., 2018). Bu alandaki bir diğer büyük endişe ise mikrobiyom verilerinin bileşimsel çerçevesini incelemek için uygun istatistiksel metodolojinin kullanılmamasıdır (Gloor ve ark., 2017). Şu anda, mikrobiyom verilerinin istatistiksel analizi için, bazı durumlarda farklı sonuçlara yol açan farklı istatistiksel analizlere dayanan birçok farklı araç bulunmaktadır (Calgaro ve ark., 2020).

Toprak, bakteriler dışında çok sayıda mikroorganizma içerir (Fierer, 2017), bu organizmalar hakkındaki bilgiler kritik öneme sahiptir, ancak şu anda fungusların, virüslerin ve protistlerin büyük çoğunluğu hakkındaki genomik bilgi yeterli değildir. Bakterilerin dışındaki mikrobiyal genomlarla ilgili bilgiler, genel çeşitlilikle karşılaştırıldığında nispeten küçüktür. Örneğin, keşfedilen 80.000'den fazla fungus türünün (Tedersoo v ark., 2014) 1000'den azı dizilenmiştir. 2020 itibariyle, Joint Genom Enstitüsünün Entegre Mikrobiyal Genomlar veritabanında bakteri, arke, ökaryot ve virüslere ilişkin 95.000'den fazla taslak veya tamamlanmış genom mevcuttur. Tüm bu genomların %85'inden fazlası bakterilerden dizilenmiştir (Chen ve ark., 2019), bu da diğer taksonomik soylarda daha fazla genom dizilimine ihtiyaç olduğunu göstermektedir.

DNA dizileme teknolojilerindeki ilerlemeler sonucunda mikrobiyomun incelenmesi önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Bu alandaki ilerlemeler artık kültür besi ortamına almaya ihtiyaç duymadan karmaşık mikrobiyal toplulukların neler olduğunu derinlemesine elde etmemize olanak sağladığı bildirilmiştir (Kuczynski ve ark., 2010). Bilim insanları, doğal ortamlarında hem kültüre edilebilir hem de kültüre edilemeyen mikroorganizma topluluklarını inceleyerek toprakta var olan mikro ekosistemler hakkında çok büyük miktarda bilgi ortaya çıkarmışlardır (Fierer, 2017). Bu toplulukların DNA dizilimi yoluyla araştırılması genellikle hedeflenen amplikon gen dizilimi veya metagenomik veriler yoluyla yapılmaktadır (Knight ve ark., 2018). Bu yaklaşımların herbiri, toprak ortamına özgü olan hem ortak hem de benzersiz sınırlamaları bulunmaktadır.

Hedeflenen amplikon gen dizilimi, toprak gibi karmaşık bir ortamda mikrobiyomu araştırmanın en yaygın yollarından biridir. Bu yaklaşım, bir numune içindeki mikroorganizma türlerini araştırmak için ucuz bir yöntem sağlar. Bu tür dizileme için ortak gen hedefleri arasında hem bakterilerde hem de arkelerde yüksek oranda korunan 16S rRNA geni (DeSantis ve ark., 2006), tüm ökaryotlarda bulunan 18S rRNA geni (Smit ve ark., 1999) yer almaktadır. Son olarak fungusların araştırılmasında etkili olduğu gösterilen (ITS) gibi diğer gen bölgesi kullanılmaktadır (Turenne ve ark., 1999). Bu yaklaşımları en büyük sınırlamalarından biri, bu tür toprak mikrobiyomu örneklerine analiz sonucunda doğru bir sınıflandırmanın yapılamamasıdır (Liu ve ark., 2008). Bunun nedeni, çoğu kısa dizi okuma teknolojisinin yalnızca 150-400 baz çifti bilgi sağlaması ve tür düzeyinde sınıflandırmalarının yapılabilmesini zorlaştırmasıdır. Ancak uzun okuma teknolojilerinin bu konuda önemli ölçüde gelişmeye başladığını da belirtmek gerekir (Johnson ve ark., 2019). Toprak, genellikle kültürü zor olan oldukça çeşitli mikrobiyal topluluklar içerdiğinden, taksonomik sınıflandırmanın özellikle zor bir örneğini sunmaktadır (Handelsman ve ark., 1998).

Taksonomik sınıflandırma doğruluğu üzerine yapılan bir çalışmada, toprak örneklerinin, 16S rRNA veya ITS dizi veri tabanlarında yer almayan yeni taksonomik gruplara ait çok sayıda ampikon dizisi içerdiğini göstermiştir (Edgar, 2018).

Bitki gelişmesini teşvik eden bakteriler (PGPB) olarak bitkilere uygulanan canlı mikroorganizmalar potansiyel olarak insanlar, hayvanlar, bitkiler ve çevre için sağlık tehdidi oluşturabilir.

Şu anda, PGPB uygulamasıyla ilişkili potansiyel riskleri değerlendirmek için uluslararası düzeyde uyumlu hale getirilmiş bir düzenleyici çerçeve bulunmamaktadır. Bakteri türlerinin güvenliğini belirlemek için bir test paneli ve değerlendirme sistemi içeren bir “Çevre ve İnsan Güvenliği Endeksi” (EHSI) protokolü geliştirilmiş ve önerilmiştir. Bu amaçla bazı testler önerilmiştir. Bunlar: *Escherichia coli* MC4100 hassasiyeti ve mikrobiyal metabolizma analizleri, *Caenorhabditis elegans*'a dayalı bir patojenite biyoanalizi, predatör böcekler (*Chrysoperla carnea*, *Adalia bipunctata*) kullanılarak ve ekotoksosite testleri, su piresi, *Daphnia magna*'da toksisite biyoanalizi ve laboratuvar farelerinde (*Mus musculus* CD1) patojenite testidir. Bugüne kadar bu protokol, bir dizi iyi bilinen PGPB ve patojenik izolat kullanılarak doğrulanmıştır (Vílchez ve ark., 2017).

Bu alandaki en önemli soru, bitki mikrobiyomunun bileşenlerini ve işlevselliğini şekillendiren temel mekanizmaların neler olduğudur. Toprakta mevcut olan biyotik ve abiyotik faktörlerin değişkenliği ve karmaşık etkileşimleri sebebiyle belirli bir mikrobiyomun çeşitli koşullar altında karakterizasyonu için, bitki gelişiminin teşvik edilmesinin bilgiye dayalı hassas tasarımına rehberlik edebilecek kolaylaştırılmış protokoller geliştirmek önem taşımaktadır. Yararlı mikroorganizmalardan ve bunların bitki gelişmesini teşvik eden özelliklerinden nasıl yararlanabiliriz, verimi artırmak için sağlıklı mikrobiyomlardan oluşan bir preparatın uygulanması için pratik

yaklaşımın ne olacağı konuları yanıt isteyen önemli konular olarak karşımızda bulunmaktadır.

3. KÖK MİKROBİYOMUNUN BİTKİ SAĞLIĞINDAKİ ROLÜ

Bitkiler ve rizosfer mikrobiyomu arasındaki etkileşimler, mikrobiyal evrimin hızını ve modelini şekillendiren ve sonunda rizosfer mikrobiyomunun kompozisyonunu etkileyen güçlü bir seçici baskı oluşturabilir (Cosetta ve Wolfe, 2019). Patojen saldırısına karşılık olarak bitkiler, patojenin çoğalmasını ve kolonizasyonunu doğrudan engelleyen veya bitkinin savunma tepkilerini geliştirebilecek faydalı mikroorganizmaların toplanmasını teşvik eden spesifik sinyaller oluşturabilmektedir. Bu olguya genellikle “yardım ıĸlıđı hipotezi” adı verilmektedir (Li ve ark., 2022; Rolfe ve ark., 2019; Carrion ve ark., 2019). Yıllık ve/veya otsu bitkilerle karşılaştırıldığında çok yıllık odunsu bitkiler, ilişkili oldukları mikrobiyomlarla uzun vadeli ilişkiler kurabilirler. Önceki çalışmalarda kullanılan çoğu otsu bitkilerin kısa gelişme dönemleri, rizosfer mikrobiyomunun stabilitesini sınırlamaktadır. Bu nedenle bitki direncindeki rolleri çevresel faktörler tarafından kolayca bozulmaktadır (Kokalis-Burelle ve ark., 2017).

Sonuç olarak, bitki türü seçiminin önemi ve kısa vadeli gelişme dönemlerinde çevresel filtrelemenin rizosfer mikrobiyomunun bileşiminde oynadığı rol hakkında ek bilgi edinmek zordur. Tersine, ağaçlar ve toprak mikrobiyomu arasındaki uzun vadeli etkileşimler nedeniyle ağaçlar, toprak kaynaklı patojenlere karşı biyotik stres toleransını artıran nispeten stabil rizosfer mikrobiyom özellikleri ve bitki fonksiyonel özellikleri oluşturabilir (Hu ve ark., 2018; Mercado-Blanco ve ark., 2018).

Bitkiler, patojenik mikroorganizmaları (örneğin funguslar, oomisetler, bakteriler, virüsler) tanıyabilen ve kendilerinin koruyucu bağışıklık tepkilerini etkinleştirebilen, hücre yüzeyinde ve içinde

bulunan iki tip bağışıklık reseptöründen iyi bir şekilde yararlanmaktadır. Bununla birlikte, patojenler konukçu bitkileri enfekte ettiğinde, enfeksiyonlarını veya kolonizasyonlarını kolaylaştırmak için konukçunun fizyolojik aktivitelerine müdahale etmek için konukçu hücrelere veya hücre dışı boşluğa kinazlar ve bakteriyel flagellinler gibi efektörler salgırlar.

Fungal kitin polisakkaritleri, fungal ksilanazları ve endojen elisitörler. PRR'ler tarafından tetiklenen bağışıklık, kalıpla tetiklenen bağışıklık (PTI) olarak bilinir. Hücre içi bağışıklık reseptörleri esas olarak, efektör tarafından tetiklenen bağışıklığı ortaya çıkarmak için sitoplazmik efektör proteinleri tanıyan, nükleotid bağlayıcı ve lösin açısından zengin tekrarlı dizilere sahip reseptörleri içeren bir reseptör proteini sınıfıdır.

Simbiyotik mikroorganizmalar, konukçu bitkilerin PRR ekspresyon seviyelerini ve MAMP duyarlılığını aktif olarak azaltabilmekte ve buna bağlı olarak simbiyotik mikroorganizmalar çoğalarak faydalı etkileri ortaya çıkabilmektedir (Zhang ve ark., 2021; Berendsen ve ark., 2012). Örneğin, mikorizal simbiyotik ilişkide, mikorizal simbiyotik reseptör OsMYR1 ve ligandı CO₄, OsCERK1'e rekabetçi bir şekilde bağlanır, böylece OsCERK1 ve OsCEBiP arasında immün reseptör komplekslerinin oluşumunu engeller. Böylelikle, kendi simbiyotik ilişkisini teşvik etmek için bağışıklık ile ilgili PAMP sinyallerini zayıflattığı bildirilmektedir (Zhang ve ark., 2021). Bu nedenle, bitki bağışıklık sistemi de bitki mikrobiyomunu etkilemenin alternatif bir yolu olarak kabul edilebilir.

Patojenlerin stresi altında bulunan bitki mikrobiyomunun içeriğinin değiştiği, bunun da bitkilerin patojen direncine yardımcı olmak ve bitki bağışıklığını geliştirmek için aktif olarak yararlı veya koruyucu mikroorganizmaların (Berendsen ve ark., 2012) bir araya gelmesini sağladığı bildirilmiştir (Zarraonaindia ve ark.,2020; Berendsen ve ark., 2012; Bakker ve ark., 2020; Contrath ve ark., 2006).

Son zamanlarda, narenciye ağaçlarında bakteriyel yeşillenme hastalığı etmeni *Candidatus Liberibacter asiaticus* enfeksiyonunun, hastalık gelişimi boyunca narenciye mikrobiyom topluluklarının kompozisyonunu büyük ölçüde değiştirdiği ortaya çıkarılmıştır (Ginnan ve ark., 2020). Ayrıca, ağaç kökü sızıntılarında bulunan spesifik bileşikler, önemli rizosfer bakterilerini teşvik ederek toprak kaynaklı patojenlerin baskı altında tutulmasında rol aldığı bildirilmiştir (Yu ve ark., 2022)

Bitki mikrobiyomu, patojenlere karşı konukçu bitki direncini güçlendirmek için doğrudan veya dolaylı olarak patojenlerle etkileşime girer. Mikrobiyomdaki önemli proteinleri, sinyal molekülleri, hormonları ve ikincil metabolitleri araştırmak ve tanımlamak için metaproteomik ve metabolomik teknolojiler kullanılarak mikrobiyomun hastalık etmenlerine karşı bitki savunmasına yardımcı olduğunu açıklayan yeni mekanizmaları ortaya çıkarmıştır.

KAYNAKÇA

- Abo-Amer, A.E., El-Shanshoury, A. E. R., Alzahrani, O. M. (2015). Isolation and molecular characterization of heavy metal-resistant *Alcaligenes faecalis* from sewage wastewater and synthesis of silver nanoparticles. *Geomicrobiol. J.* 32 (9): 836–845.
- Ambrosini, A., de Souza, R., Passaglia, L. M. P. (2016). Ecological role of bacterial inoculants and their potential impact on soil microbial diversity. *Plant Soil* 40:193–207.
- Armada, E., Leite, M. F. A., Medina, A., Azcon, R., Kuramae, E. E. (2018). Native bacteria promote plant growth under drought stress condition without impacting the rhizomicrobiome. *FEMS Microbiol. Ecol.* 94 (7): 1-13.
- Artursson, V., Finlay, R.D., Jansson, J.K. (2005). Combined bromodeoxyuridine immunocapture and terminal-restriction fragment length polymorphism analysis highlights differences in the active soil bacterial metagenome due to *Glomus mosseae* inoculation or plant species. *Environ. Microbiol.* 7 (12): 1952–1966.
- Babalola, O. O. (2010). Beneficial bacteria of agricultural importance. *Biotechnol. Lett.* 32:1559–1570.
- Bakker, P.A., Berendsen, R. L., VanPelt, J. A., Vismans, G., Yu, K., Li, E., VanBentum, S., Poppeliers, S. W., Gil, J.J.S., Zhang, H. (2020). The soil-borne identity and microbiome-assisted agriculture: Looking back to the future. *Mol. Plant.* 13: 1394–1401.
- Banerjee, S., Schlaeppi, K., van der Heijden, M. G. A. (2018). Keystone taxa as drivers of microbiome structure and functioning. *Nat. Rev. Microbiol.* 16 (9): 567–576.
- Bastida, F., Torres, I.F., Andres-Abellan, M., Baldrian, P., Lopez-Mondejar, R., Vetrovsky, T., Richnow, H. H., Starke, R., Ondonno, S., Garcia, C., Lopez-Serrano, F.R., Jehmlich, N. (2017). Differential sensitivity of total and active soil microbial communities to drought and forest management. *Glob. Chang. Biol.* 23 (10): 4185–4203.
- Berg, J., Brandt, K.K., Al-Soud, W.A., Holm, P.E., Hansen, L.H., Sørensen, S. J., Berg, G., Grube, M., Schlöter, M., Smalla, K. (2014). Unraveling the plant microbiome: looking back and future perspectives. *Front. Microbiol.* 5: 1–7.

- Berendsen, R. L., Pieterse, C. M., Bakker, P.A. (2012). The rhizosphere microbiome and plant health. *Trends Plant Sci.* 17: 478–486.
- Bernal, P., Allsopp, L.P., Filloux, A., Llamas, M. A. (2017). The *Pseudomonas putida* T6SS is a plant warden against phytopathogens. *ISME J.* 11 (4): 972–987.
- Bhunchoth, A., Phironrit, N., Leksomboon, C., Chatchawankanphanich, O., Kotera, S., Narulita, E., Kawasaki, T., Fujie, M., Yamada, T. (2015). Isolation of *Ralstonia solanacearum*-infecting bacteriophages from tomato fields in Chiang Mai, Thailand, and their experimental use as biocontrol agents. *J. Appl. Microbiol.* 118 (4): 1023–1133.
- Bodenhausen, N., Horton, M.W., Bergelson, J. (2013). Bacterial communities associated with the leaves and the roots of *Arabidopsis thaliana*. *PLoS One* 8 (2): e56329.
- Bonito, G., Anslan, S., Abell, S., Abarenkov, K. (2014). Global diversity and geography of soil fungi. *Science* 346 (6213): 1256688
- Bowatte, S., Newton, P.C.D., Takahashi, R., Kimura, M. (2010). High frequency of virus- infected bacterial cells in a sheep grazed pasture soil in New Zealand. *Soil Biol. Biochem.* 42 (5): 708–712.
- Braga, L.P., Yoshiura, C.A., Borges, C.D., Horn, M.A., Brown, G.G., Drake, H.L., Tsai, S. M. (2016). Disentangling the influence of earthworms in sugarcane rhizosphere. *Sci. Rep.* 15: 38923.
- Breidenbach, B., Brenzinger, K., Brandt, F.B., Blaser, M.B., Conrad, R. (2017). The effect of crop rotation between wetland rice and upland maize on the microbial communities associated with roots. *Plant Soil* 419 (1-2): 435–445.
- Bulgarelli, D., Rott, M., Schlaeppi, K., Ver Loren van Themaat, E., Ahmadinejad, N., Assenza, F., Rauf, P., Huettel, B., Reinhardt, R., Schmelzer, E., Peplies, J., Gloeckner, F.O., Amann, R., Eickhorst, T., Schulze-Lefert, P. (2012). Revealing structure and assembly cues for *Arabidopsis* root-inhabiting bacterial microbiota. *Nature* 488 (7409): 91–95.
- Bulgarelli, D., Garrido-Oter, R., Münch, P.C., Weiman, A., Droßge, J., Pan, Y., McHardy, A. C., Schulze-Lefert, P. (2015). Structure and function of the bacterial root microbiota in wild and domesticated barley. *Cell Host Microbe* 17 (3): 392–403.

- Buonaurio, R., Moretti, C., da Silva, D.P., Cortese, C., Ramos, C., Venturi, V. (2015). The olive knot disease as a model to study the role of interspecies bacterial communities in plant disease. *Front. Plant Sci.* 6: 434.
- Busby, P.E., Ridout, M., Newcombe, G. (2016). Fungal endophytes: modifiers of plant disease. *Plant Mol. Biol.* 90: 645–655.
- Buttimer, C., McAuliffe, O., Ross, R.P., Hill, C., O’Mahony, J., Coffey, A. (2017). Bacteriophages and bacterial plant diseases. *Front. Microbiol.* 8: 34.
- Calgaro, M., Romualdi, C., Waldron, L., Risso, D., Vitulo, N. (2020). Assessment of statistical methods from single cell, bulk RNA-seq, and metagenomics applied to microbiome data. *Genome Biol.* 21: 191.
- Caporaso, J.G., Lauber, C.L., Walters, W.A., Berg-Lyons, D., Lozupone, C.A., Turnbaugh, P.J., Fierer, N., Knight, R. (2011). Global patterns of 16S rRNA diversity at a depth of millions of sequences per sample. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 108 (Suppl 1): 4516–4522.
- Caruso, V., Song, X., Asquith, M., Karstens, L. (2019). Performance of microbiome sequence inference methods in environments with varying biomass. *MSystems* 4 (1): e00163–18.
- Carrion, V.J., Perez-Jaramillo, J., Cordovez, V., Tracanna, V., De Hollander, M., Ruiz-Buck, D., Mendes, L.W., van Ijcken, W.F., Gomez-Exposito, R., Elsayed, S.S. (2019). Pathogen-induced activation of disease-suppressive functions in the endophytic root microbiome. *Science* 366: 606–612.
- Castaneda-Alvarez, C., Aballay, E. (2016). Rhizobacteria with nematicide aptitude: enzymes and compounds associated. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 32 (12): 203.
- Chakraborty, U., Chakraborty, B.N., Chakraborty, A.P., Dey, P.L. (2013). Water stress amelioration and plant growth promotion in wheat plants by osmotic stress tolerant bacteria. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 29 (5): 789–803.
- Chapelle, E., Mendes, R., Bakker, P.A., Raaijmakers, J. M. (2016). Fungal invasion of the rhizosphere microbiome. *ISME J.* 10 (1): 265–268.
- Chen, L., He, L., Wang, Q., Sheng, X. (2016). Synergistic effects of plant growth-promoting *Neorhizobium huautlense* T1-17 and immobilizers on the growth and

- heavy metal accumulation of edible tissues of hot pepper. *J. Hazard Material.* 312: 123–131.
- Chen, Y., Wang, J., Yang, N., Wen, Z., Sun, X., Chai, Y., Ma, Z. (2018). Wheat microbiome bacteria can reduce virulence of a plant pathogenic fungus by altering histone acetylation. *Nat. Commun.* 9 (1): 3429.
- Chen, I.A., Chu, K., Palaniappan, K., Pillay, M., Ratner, A., Huang, J., Huntemann, M., Varghese, N., White, J.R., Seshadri, R., Smirnova, T., Kirton, E., Jungbluth, S.P., Woyke, T., Eloë-Fadrosch, E.A., Ivanova, N.N., Kyrpides, N.C. (2019). IMG/M v.5.0: an integrated data management and comparative analysis system for microbial genomes and microbiomes. *Nucleic Acids Res.* 47 (D1): D666–D677.
- Conrath, U., Beckers, G.J., Flors, V., García-Agustín, P., Jakab, G., Mauch, F., Newman, M. A., Pieterse, C. M., Poinssot, B., Pozo, M.J. (2006). Priming: Getting ready for battle. *Mol. Plant Microbe Interact.* 19: 1062–1071.
- Cosetta, C.M., Wolfe, B.E. (2019). Causes and consequences of biotic interactions within microbiomes. *Curr. Opin. Microbiol.* 50: 35–41.
- Costea, P., Zeller, G., Sunagawa, S., et al., (2017). Towards standards for human fecal sample processing in metagenomic studies. *Nat. Biotechnol.* 35: 1069–1076.
- Delgado-Baquerizo, M., Gallardo, A., Wallenstein, M.D., Maestre, F.T. (2013). Vascular plants mediate the effects of aridity and soil properties on ammonia-oxidizing bacteria and archaea. *FEMS Microbiol. Ecol.* 85 (2): 273–282.
- Delmotte, N., Knief, C., Chaffron, S., Innerebner, G., Roschitzki, B., Schlapbach, R., von Mering, C., Vorholt, J.A. (2009). Community proteogenomics reveals insights into the physiology of phyllosphere bacteria. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 106 (38): 16428–16433.
- Deng, S., Ke, T., Li, L., Cai, S., Zhou, Y., Liu, Y., Guo, L., Chen, L., Zhang, D. (2018). Impacts of environmental factors on the whole microbial communities in the rhizosphere of a metal-tolerant plant: *elsholtzia haichowensis* Sun. *Environ. Pollut.* 237:1088–1097.
- DeSantis, T.Z., Hugenholtz, P., Larsen, N., Rojas, M., Brodie, E.L., Keller, K., Huber, T., Dalevi, D., Hu, P., Andersen, G.L. (2006). Greengenes, a chimera-checked

- 16S rRNA gene database and workbench compatible with ARB. *Appl. Environ. Microbiol.* 72 (7): 5069–5072.
- Dixit, V.K., Misra, S., Mishra, S.K., Tewari, S.K., Joshi, N., Chauhan, P.S. (2020). Characterization of plant growth-promoting alkalotolerant *Alcaligenes* and *Bacillus* strains for mitigating the alkaline stress in *Zea mays*. *Antonie van Leeuwenhoek* 113: 889–905.
- Duran, P., Thiergart, T., Garrido-Oter, R., Agler, M., Kemen, E., Schulze-Lefert, P., Hacquard, S. (2018). Microbial interkingdom interactions in roots promote *Arabidopsis* survival. *Cell* 175 (4): 973–983.
- Edgar, R. C. (2018). Accuracy of taxonomy prediction for 16S rRNA and fungal ITS sequences. *Peer J.* 6: e4652
- El-Meihy, R.M., Abou-Aly, H.E., Youssef, A.M., Tewfike, T.A., El-Alkshar, E.A., (2019). Efficiency of heavy metals-tolerant plant growth promoting bacteria for alleviating heavy metals toxicity on sorghum. *Environ. Exp. Bot.* 162: 295–301.
- Engelmoer, D.J.P., Behm, J.E., Toby Kiers, E. (2014). Intense competition between arbuscular mycorrhizal mutualists in an *in vitro* root microbiome negatively affects total fungal abundance. *Mol. Ecol.* 23 (6): 1584–1593.
- Fatima, T., Mishra, I., Verma, R., Arora, N.K. (2020). Mechanisms of halo tolerant plant growth promoting *Alcaligenes* sp. Involved in salt tolerance and enhancement of the growth of rice under salinity stress. *3 Biotech* 10: 361.
- Fernandez-Calvino, D., Baath, E. (2010). Growth response of the bacterial community to pH in soils differing in pH. *FEMS Microbiol. Ecol.* 73 (1): 149–156.
- Fierer, N. (2017). Embracing the unknown: disentangling the complexities of the soil microbiome. *Nat. Rev. Microbiol.* 15: 579.
- Frossard, A., Donhauser, J., Mestrot, A., Gygax, S., Baath, E., Frey, B. (2018). Long- and short-term effects of mercury pollution on the soil microbiome. *Soil Biol. Biochem.* 12:191–199.
- Gagne-Bourque, F., Bertrand, A., Claessens, A., Aliferis, K.A., Jabaji, S. (2016). Alleviation of drought stress and metabolic changes in timothy (*Phleum pratense* L.) colonized with *Bacillus subtilis* B26. *Front. Plant Sci.* 7: 584.

- Gaiero, J.R., McCall, C.A., Thompson, K.A., Day, N.J., Best, A.S., Dunfield, K.E. (2013). Inside the root microbiome: bacterial root endophytes and plant growth promotion. *Am. J. Bot.* 100 (9): 1738–1750
- George, E., Horst, W.J., Neumann, E. (2012). Adaptation of Plants to Adverse Chemical Soil Conditions, In Marschner's Mineral Nutrition, of higher plants (pp. 409-472). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00017-0>.
- Gil-Martinez, M., Lopez-Garcia, A., Dominguez, M. T., Navarro-Fernandez, C.M., Kjller, R., Tibbett, M., Maranon, T. (2018). Ectomycorrhizal fungal communities and their functional traits mediate plant-soil interactions in trace element contaminated soils. *Front. Plant Sci.* 9: 1682.
- Glick, B.R. (2020). *Beneficial Plant-Bacterial Interactions*, 2nd ed. Springer, Heidelberg.
- Gloor, G.B., Macklaim, J.M., Pawlowsky-Glahn, V., Egozcue, J.J. (2017). Microbiome Data sets are compositional: and this is not optional. *Front. Microbiol.* 8: 2224.
- Ginnan, N. A., Dang, T, Bodaghi, S., Ruegger, P. M., McCollum, G., England, G., Vidalakis, G., Borneman, J., Rolshausen, P.E., Roper, M.C. (2020). Disease-induced microbial shifts in citrus indicate microbiome-derived responses to huanglongbing across the disease severity spectrum. *Phytobiomes J.* 4: 375–387.
- Golebiewski, M., Deja-Sikora, E., Cichosz, M., Tretyn, A., Wrobel, B. (2014). 16S rDNA pyro sequencing analysis of bacterial community in heavy metals polluted soils. *Microbial. Ecol.* 67 (3):635–647
- Hacquard, S., Spaepen, S., Garrido-Oter, R., Schulze-Lefert, P. (2017). Interplay between innate immunity and the plant microbiota. *Annu. Rev. Phytopathol.* 55: 565–589.
- Hameed, A., Dilfuza, E., Abd-Allah, E.F., Hashem, A., Kumar, A., Ahmad, P. (2014). Salinity stress and arbuscular mycorrhizal symbiosis in plants. In: Miransari, M. (ed.). *Use of Microbes for the Alleviation of Soil Stresses*, Volume 1., Springer, New York, NY. p:139-159.

- Hamel, C., Gan, Y., Sokolski, S., Bainard, L.D. (2018). High frequency cropping of pulses modifies soil nitrogen level and the rhizosphere bacterial microbiome in 4-year rotation systems of the semiarid prairie. *Appl. Soil Ecol.* 126: 47–56.
- Handelsman, J., Rondon, M.R., Brady, S.F., Clardy, J., Goodman, R. M. (1998). Molecular biological access to the chemistry of unknown soil microbes: a new frontier for natural products. *Chem. Biol.* 5 (10): R245–R249.
- Haney, C.H., Samuel, B.S., Bush, J., Ausubel, F.M. (2015). Associations with rhizosphere bacteria can confer an adaptive advantage to plants. *Nat. Plants* 1 (6): 15051.
- Hiltner, L. (1904). Über neuere Erfahrungen und Probleme auf dem Gebiete der Bodenbakteriologie unter besonderer Berücksichtigung der Gründüngung und Brache. *Arb DLG* 98: 59–78.
- Hosni, T., Moretti, C., Devescovi, G., Suarez-Moreno, Z. R., Fatmi, M.B., Guarnaccia, C., Pongor, S., Onofri, A., Buonauro, R., Venturi, V. (2011). Sharing of quorum-sensing signals and role of interspecies communities in a bacterial plant disease. *ISME J.* 5 (12): 1857–1870.
- Hryniewicz, K., Szymanska, S., Piernik, A., Thiem, D. (2015). Ectomycorrhizal community structure of *Salix* and *Betula* spp. At a saline site in central Poland in relation to the seasons and soil parameters. *Water Air Soil Pollut.* 226 (4): 99.
- Hu, L., Robert, C.A., Cadot, S., Zhang, X., Ye, M., Li, B., Manzo, D., Chervet, N., Steinger, T., Van Der Heijden, M.G. (2018). Root exudate metabolites drive plant-soil feedbacks on growth and defense by shaping the rhizosphere microbiota. *Nat. Commun.* 9: 2738.
- Hu, J., Wei, Z., Friman, V.P., Gu, S.H., Wang, X.F., Eisenhauer, N., Yang, T.J., Ma, J., Shen, Q.R., Xu, Y.C., Jousset, A. (2016). Probiotic diversity enhances rhizosphere microbiome function and plant disease suppression. *mBio* 7 (6): e01790–16.
- Hur, M., Kim, Y., Song, H.-R., Kim, J.M., Choi, Y.I., Yi, H. (2011). Effect of genetically modified poplars on soil microbial communities during the phytoremediation of waste mine tailings. *Appl. Environ. Microbiol.* 77 (21): 7611–7619.

- Inceoglu, O., Al-Soud, W.A., Salles, J. F., Semenov, A. V., van Elsas, J.D. (2011). Comparative analysis of bacterial communities in a potato field as determined by pyrosequencing. *PLoS One* 6 (8): e23321.
- Jiao, S., Chen, W., Wei, G. (2019). Resilience and assemblage of soil microbiome in response to chemical contamination combined with plant growth. *Appl. Environ. Microbiol.* 85 (6): e02523–18.
- Johnson, J.S., Spakowicz, D.J., Hong, B.Y., Petersen, L.M., Demkowicz, P., Chen, L., Leopold, S.R., Hanson, B.M., Agresta, H.O., Gerstein, M., Sodergren, E., Weinstock, G.M. (2019). Evaluation of 16S rRNA gene sequencing for species and strain-level microbiome analysis. *Nat. Commun.* 10: 5029.
- Kemen, E. (2014). Microbe-microbe interactions determine oomycete and fungal host colonization. *Curr. Opin. Plant Biol.* 20: 75–81
- Kim, K., Samaddar, S., Chatterjee, P., Krishnamoorthy, R., Jeon, S., Sa, T. (2019). Structural and functional responses of microbial community with respect to salinity levels in a coastal reclamation land. *Appl. Soil Ecol.* 137: 96–105.
- Knight, R., Vrbancac, A., Taylor, B.C., Aksenov, A., Callewaert, C., Debelius, J., Gonzalez, A., Kosciolk, T., McCall, L.I., McDonald, D., Melnik, A.V., Morton, J.T., Navas, J., Quinn, R.A., Sanders, J.G., Swafford, A.D., Thompson, L.R., Tripathi, A., Xu, Z.Z., Zaneveld, J.R., Zhu, Q., Caporaso, J.G., Dorrestein, P.C. (2018). Best practices for analysing microbiomes. *Nat. Rev. Microbiol.* 16 (7): 410–422.
- Kokalis-Burelle, N., McSorley, R., Wang, K.-H., Saha, S.K., McGovern, R.J. (2017). Rhizosphere microorganisms affected by soil solarization and cover cropping in *Capsicum annuum* and *Phaseolus lunatus* agroecosystems. *Appl. Soil Ecol.*, 119: 64–71.
- Koskella, B., Brockhurst, M.A. (2014). Bacteria–phage coevolution as a driver of ecological and evolutionary processes in microbial communities. *FEMS Microbiol. Rev.* 38 (5): 916–931.
- Koskella, B., Meaden, S. (2013). Understanding bacteriophage specificity in natural microbial communities. *Viruses* 5 (3): 806–823.
- Koskella, B., Taylor, T.B. (2018). Multifaceted impacts of bacteriophages in the plant microbiome. *Annu. Rev. Phytopathol.* 56 (1): 361–380.

- Kuczynski, J., Costello, E.K., Nemergut, D.R., Zaneveld, J., Lauber, C.L., Knights, D., Koren, O., Fierer, N., Kelley, S.T., Ley, R.E., Gordon, J.I., Knight, R. (2010). Direct sequencing of the human microbiome readily reveals community differences. *Genome Biol.* 11 (5): 210.
- Lang, M., Christie, P., Zhang, J., Li, X. (2018). Long-term phosphorus application to a maize monoculture influences the soil microbial community and its feedback effects on maize seedling biomass. *Appl. Soil Ecol.* 128: 12–22.
- Lareen, A., Burton, F., Schafer, P. (2016). Plant root-microbe communication in shaping root microbiomes. *Plant Mol. Biol.* 90:575–587.
- Lebeis, S.L., Paredes, S.H., Lundberg, D.S., Breakfield, N., Gehring, J., McDonald, M., Malfatti, S., Glavina del Rio, T., Jones, C.D., Tringe, S.G., Dangl, J. L. (2015). Salicylic acid modulates colonization of the root microbiome by specific bacterial taxa. *Science* 349 (6250): 860–864.
- Lesk, C., Rowhani, P., Ramankutty, N. (2016). Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature* 529 (7584): 84–87.
- Li, P.-D.; Zhu, Z.-R.; Zhang, Y.; Xu, J.; Wang, H.; Wang, Z.; Li, H. (2022). The phyllosphere microbiome shifts toward combating melanose pathogen. *Microbiome* 10: 56.
- Lindah, B.D., Paul, L.R., Elfstrand, M., Finlay, R.D., Toljander, J.F. (2007). Influence of arbuscular mycorrhizal mycelial exudates on soil bacterial growth and community structure. *FEMS Microbiol. Ecol.* 61 (2): 295–304.
- Liu, Z., DeSantis, T.Z., Andersen, G.L., Knight, R. (2008). Accurate taxonomy assignments from 16S rRNA sequences produced by highly parallel pyrosequencers. *Nucleic Acids Res.* 36 (18): e120
- Lundberg, D.S., Lebeis, S.L., Paredes, S.H., Yourstone, S., Gehring, J., Malfatti, S., Tremblay, J., Engelbrektsen, A., Kunin, V., Del Rio, T.G., Edgar, R.C., Eickhorst, T., Ley, R.E., Hugenholtz, P., Tringe, S.G., Dangl, J.L. (2012). Defining the core *Arabidopsis thaliana* root microbiome. *Nature* 488 (7409): 86–90.
- Luziatelli, F., Ficca, A.G., Cardarelli, M., Melini, F., Cavalieri, A., Ruzzi, M. (2020). Genome sequencing of *Pantoea agglomerans* C1 provides insights into

- molecular and genetic mechanisms of plant growth-promotion and tolerance to heavy metals. *Microorganisms*. 8: 153.
- Maarastawi, S.A., Frindte, K., Linnartz, M., Knief, C. (2018). Crop rotation and straw application impact microbial communities in Italian and Philippine soils and the rhizosphere of *Zea mays*. *Front. Microbiol.* 9: 1295.
- Marasco, R., Rolli, E., Vigani, G., Borin, S., Sorlini, C., Ouzari, H., Zocchi, G., Daffonchio, D. (2013). Are drought-resistance promoting bacteria cross-compatible with different plant models? *Plant Signal. Behav.* 8 (10): e26741
- Mendes, R., Garbeva, P., Raaijmakers, J.M. (2013). The rhizosphere microbiome: significance of plant beneficial, plant pathogenic, and human pathogenic microorganisms. *FEMS Microbiol. Rev.* 37: 634–663.
- Mercado-Blanco, J.; Abrantes, I.; Barra Caracciolo, A.; Bevivino, A.; Ciancio, A.; Grenni, P.; Hrynkiewicz, K.; Kredics, L.; Proença, D.N. (2018). Below ground microbiota and the health of tree crops. *Front. Microbiol.* 9: 1006.
- Mnasri, M., Janouskova, M., Rydlova, J., Abdelly, C., Ghnaya, T. (2017). Comparison of arbuscular mycorrhizal fungal effects on the heavy metal uptake of a host and a non- host plant species in contact with extraradical mycelial network. *Chemosphere* 171: 476–484.
- Moissl-Eichinger, C., Pausan, M., Taffner, J., Berg, G., Bang, C., Schmitz, R.A. (2018). Archaea are interactive components of complex microbiomes. *Trend Microbiol.* 26 (1): 70–85
- Morella, N.M., Gomez, A.L., Wang, G., Leung, M.S., Koskella, B. (2018). The impact of bacteriophages on phyllosphere bacterial abundance and composition. *Mol. Ecol.* 27 (8): 2025–2038.
- Mukhtar, S., Mirza, M., Awan, H., Maqbool, A., Mehnaz, S., Malik, K. (2016). Microbial diversity and metagenomic analysis of the rhizosphere of para grass (*Urochloa mutica*) growing under saline conditions. *Pak. J. Bot.* 48 (2): 779–791.
- Naylor, D., Coleman-Derr, D. (2018). Drought stress and root-associated bacterial communities. *Front. Plant Sci.* 8: 2223.

- Naylor, D., DeGraaf, S., Purdom, E., Coleman-Derr, D. (2017). Drought and host selection influence bacterial community dynamics in the grass root microbiome. *ISME J.* 11 (12): 2691–2704.
- Nearing, J.T., Douglas, G.M., Comeau, A.M., Langille, M.G.I. (2018). Denoising the Denoisers: an independent evaluation of microbiome sequence error-correction approaches. *Peer J* 6: e5364.
- Parikka, K.J., Le Romancer, M., Wauters, N., Jacquet, S. (2017). Deciphering the virus-to-prokaryote ratio (VPR): insights into virus–host relationships in a variety of ecosystems. *Biol. Rev.* 92 (2): 1081–1100.
- Passos da Silva, D., Castaneda-Ojeda, M.P., Moretti, C., Buonauro, R., Ramos, C., Venturi, V. (2014). Bacterial multispecies studies and microbiome analysis of a plant disease. *Microbiology* 160 (Pt 3): 556–566.
- Peters, R.D., Sturz, A.V., Carter, M.R., Sanderson, J.B. (2003). Developing disease-suppressive soils through crop rotation and tillage management practices. *Soil Till. Res.* 72 (2): 181–192.
- Pettersson, E., Lundeberg, J., Ahmadian, A. (2009). Generations of sequencing technologies. *Genomics* 93: 105–111.
- Poudel, R., Jumpponen, A., Schlatter, D.C. Paulitz, T. Gardener, B.M. Kinkel, L.L. Garrett, K. (2016). Microbiome networks: A systems framework for identifying candidate microbial assemblages for disease management. *Phytopathology* 106: 1083–1096.
- Qi, D., Wieneke, X., Tao, J., Zhou, X., Desilva, U. (2018). Soil pH is the primary factor correlating with soil microbiome in karst rocky desertification regions in the Wushan County, Chongqing, China. *Front. Microbiol.* 9: 1027.
- Redman, R. S., Kim, Y. O., Woodward, C. J. D. A., Greer, C., Espino, L., Doty, S. L., Rodriguez, R. J. (2011). Increased fitness of rice plants to abiotic stress via habitat adapted symbiosis: A strategy for mitigating impacts of climate change. *PLoS One* 6 (7): e14823.
- Rolfe, S.A.; Griffiths, J.; Ton, J. (2019). Crying out for help with root exudates: Adaptive mechanisms by which stressed plants assemble health-promoting soil microbiomes. *Curr. Opin. Microbiol.* 49: 73–82.

- Rolli, E., Marasco, R., Vigani, G., Ettoumi, B., Mapelli, F., Deangelis, M.L., Gandolfi, C., Casati, E., Previtali, F., Gerbino, R., Pierotti Cei, F., Borin, S., Sorlini, C., Zocchi, G., Daffonchio, D. (2015). Improved plant resistance to drought is promoted by the root-associated microbiome as a water stress-dependent trait. *Environ. Microbiol.* 17 (2):316–331.
- Rousk, J., Baath, E., Brookes, P.C., Lauber, C.L., Lozupone, C., Caporaso, J.G., Knight, R., Fierer, N. (2010). Soil bacterial and fungal communities across a pH gradient in an arable soil. *ISME J.* 4 (10): 1340–1351.
- Sasse, J., Martinoia, E., Northen, T. (2018). Feed your friends: Do plant exudates shape the root microbiome? *Trends Plant Sci.* 23 (1): 25–41.
- Sheik, C.S., Mitchell, T.W., Rizvi, F.Z., Rehman, Y., Faisal, M., Hasnain, S., McInerney, M. J., Krumholz, L.R. (2012). Exposure of soil microbial communities to chromium and arsenic alters their diversity and structure. *PLoS One* 7 (6): e40059.
- Sinha, R., Abu-Ali, G., Vogtmann, E., Fodor, A.A., Ren, B., Amir, A., Schwager, E., Crabtree, J., Ma, S., Microbiome Quality Control Consortium, Abnet, C.C., Knight, R., White, O., Huttenhower, C. (2017). Assessment of variation in microbial community amplicon sequencing by the Microbiome Quality Control (MBQC) project consortium. *Nat. Biotechnol.* 35 (11): 1077–1086.
- Smalla, K., Wieland, G., Buchner, A., Zock, A., Parzy, J., Kaiser, S., Roskot, N., Heuer, H., Berg, G. (2001). Bulk and rhizosphere soil bacterial communities studied by denaturing gradient gel electrophoresis: Plant-dependent enrichment and seasonal shifts revealed. *Appl. Environ. Microbiol.* 67: 4742–4751.
- Smit, E., Leeflang, P., Glandorf, B., Dirk van Elsas, J., Wernars, K. (1999). Analysis of fungal diversity in the wheat rhizosphere by sequencing of cloned PCR-amplified genes encoding 18S rRNA and temperature gradient gel electrophoresis. *Appl. Environ. Microbiol.* 65 (6): 26140-2621.
- Smith-Moore, C.M., Grunden, A.M. (2018). Bacteria and archaea as the sources of traits for enhanced plant phenotypes. *Biotechnol. Adv.* 36 (7): 1900–1916.
- Soussi, A., Ferjani, R., Marasco, R., Guesmi, A., Cherif, H., Rolli, E., Mapelli, F., Ouzari, H.I., Daffonchio, D., Cherif, A. (2016). Plant-associated microbiomes

- in arid lands: diversity, ecology and biotechnological potential. *Plant Soil* 405 (1-2): 357–370.
- Stevenson, F.C., Kessel, C.V. (1996). The nitrogen and non-nitrogen rotation benefits of pea to succeeding crops. *Can. J. Plant Sci.* 76 (4): 735–745.
- Steward, G.F., Culley, A.I., Mueller, J.A., Wood-Charlson, E.M., Belcaid, M., Poisson, G. (2012). Are we missing half of the viruses in the ocean? *ISME J.* 7: 672.
- Stough, J.M.A., Kolton, M., Kostka, J.E., Weston, D.J., Pelletier, D.A., Wilhelm, S.W. (2018). Diversity of active viral infections within the *Sphagnum* microbiome. *Appl. Environ. Microbiol.* 84 (23): e01124–18
- Suarez-Moo, P., de, J., Vovides, A.P., Griffith, M.P., Barona-Gomez, F., Cibrian-Jaramillo, A. (2019). Unlocking a high bacterial diversity in the coralloid root microbiome from the cycad genus *Dioon*. *PLoS One* 14 (2): e0211271.
- Taffner, J., Erlacher, A., Bragina, A., Berg, C., Moissl-Eichinger, C., Berg, G. (2018). What is the role of Archaea in plants? New insights from the vegetation of alpine bogs. *mSphere* 3 (3): e00122–18.
- Taghavi, S. (2015). The soil microbiome influences grapevine-associated microbiota. *mBio* 6: e02527-14.
- Takahashi, R., Bowatte, S., Taki, K., Ohashi, Y., Asakawa, S., Kimura, M. (2011). High frequency of phage-infected bacterial cells in a rice field soil in Japan. *Soil Sci. Plant Nutr.* 57 (1): 35–39.
- Tedersoo, L., Bahram, M., Polme, S., Koljalg, U., Yorou, N.S., Wijesundera, R., Villarreal Ruiz, L., Vasco-Palacios, A.M., Thu, P.Q., Suija, A., Smith, M.E., Sharp, C., Saluveer, E., Saitta, A., Rosas, M., Riit, T., Ratkowsky, D., Pritsch, K., Poldmaa, K., Piepenbring, M., Phosri, C., Peterson, M., Parts, K., Pärtel, K., Otsing, E., Nouhra, E., Njouonkou, A.L., Nilsson, R.H., Morgado, L.N., Mayor, J., May, T.W., Majuakim, L., Lodge, D.J., Lee, S.S., Larsson, K.H., Kohout, P., Hosaka, K., Hiiesalu, I., Henkel, T. W., Harend, H., Guo, L.D., Greslebin, A., Grelet, G., Geml, J., Gates, G., Dunstan, W., Dunk, C., Drenkhan, R., Dearnaley, J., De Kesel, A., Dang, T., Chen, X., Buegger, F., Brearley, F.Q., Thiem, D., Gołębiewski, M., Hulisz, P., Piernik, A., Hryniewicz, K. (2018). How does salinity shape bacterial and fungal microbiomes of *Alnus glutinosa* roots? *Front. Microbiol.* 9: 651.

- Thion, C.E., Poirel, J.D., Cornulier, T., De Vries, F.T., Bardgett, R.D., Prosser, J.I. (2016). Plant nitrogen-use strategy as a driver of rhizosphere archaeal and bacterial ammonia oxidiser abundance. *FEMS Microbiol. Ecol.* 92 (7):1-11.
- Tozser, D., Magura, T., Simon, E. (2017). Heavy metal uptake by plant parts of willow species: a meta-analysis. *J. Hazard. Mater.* 336: 101–109.
- Turenne, C.Y., Sanche, S.E., Hoban, D.J., Karlowsky, J.A., Kabani, A.M. (1999). Rapid identification of fungi by using the ITS2 genetic region and an automated fluorescent capillary electrophoresis system. *J. Clin. Microbiol.* 37 (6): 1846–1851.
- van der Heijden, M.G.A., Hartmann, M. (2016). Networking in the plant microbiome. *PLoS Biol.* 14 (2): e1002378
- van der Heijden, M.G., de Bruin, S., Luckerhoff, L., van Logtestijn, R. S., Schlaeppi, K. (2016). A widespread plant-fungal-bacterial symbiosis promotes plant biodiversity, plant nutrition and seedling recruitment. *ISME J.* 10 (2): 389–399.
- van Der Heijden, M.G.; Hartmann, M. (2016). Networking in the plant microbiome. *PLoS Biol.* 14: e1002378.
- Varani, A.M., Monteiro-Vitorello, C.B., Nakaya, H.I., Van Sluys, M.A. (2013). The role of prophage in plant-pathogenic bacteria. *Annu. Rev. Phytopathol.* 51: 429–451.
- Veach, A.M., Yip, D., Engle, N.L., Yang, Z.K., Bible, A., Morrell-Falvey, J., Tschaplinski, T.J., Kalluri, U.C., Schadt, C.W. (2018). Modification of plant cell wall chemistry impacts metabolome and microbiome composition in *Populus PdKOR1* RNAi plants. *Plant Soil* 429 (1-2): 349–361.
- Venter, Z.S., Jacobs, K., Hawkins, H.J. (2016). The impact of crop rotation on soil microbial diversity: a meta-analysis. *Pedobiologia* 59 (4): 215–223.
- Verbruggen, E., Van Der Heijden, M.G., Weedon, J.T., Kowalchuk, G.A., Roling, W.F. (2012). Community assembly, species richness and nestedness of arbuscular mycorrhizal fungi in agricultural soils. *Mol. Ecol.* 21 (10): 2341–2353
- Vorholt, J.A. (2012). Microbial life in the phyllosphere. *Nat. Rev. Microbiol.* 10, 828.
- Microbiological Research 245 (2021): 126690.

- Wagner, M.R., Lundberg, D.S., Del Rio, T.G., Tringe, S.G., Dangl, J.L., Mitchell-Olds, T. (2016). Host genotype and age shape the leaf and root microbiomes of a wild perennial plant. *Nat. Commun.* 7: 12151.
- Wang, J., Jia, H. (2016). Metagenome-wide association studies: Fine-mining the microbiome. *Nat. Rev. Microbiol.* 14: 508–522.
- Wei, Z., Hu, J., Gu, Y., Yin, S., Xu, Y., Jousset, A., Shen, Q., Friman, V.-P. (2018). *Ralstonia solanacearum* pathogen disrupts bacterial rhizosphere microbiome during an invasion. *Soil Biol. Biochem.* 118:8–17
- Wilson, R.H., Alonso, H., Whitney, S.M. (2016). Evolving *Methanococcoides burtonii* archaeal Rubisco for improved photosynthesis and plant growth. *Sci. Rep.* 6: 22284.
- Yaish, M.W., Kumar, P.P. (2015). Salt tolerance research in date palm tree (*Phoenix dactylifera* L.), past, present, and future perspectives. *Front. Plant Sci.* 6: 348.
- Yaish, M.W., Al-Lawati, A., Jana, G.A., Vishwas Patankar, H., Glick, B.R. (2016). Impact of soil salinity on the structure of the bacterial endophytic community identified from the roots of caliph medic (*Medicago truncatula*). *PLoS One* 11 (7): e0159007.
- Yan, N., Marschner, P., Cao, W., Zuo, C., Qin, W. (2015). Influence of salinity and water content on soil microorganisms. *Int. Soil Water Cons. Res.* 3 (4): 316–323.
- Yeoh, Y.K., Paungfoo-Lonhienne, C., Dennis, P.G., Robinson, N., Ragan, M.A., Schmidt, S., Hugenholtz, P. (2016). The core root microbiome of sugarcane cultivated under varying nitrogen fertilizer application. *Environ. Microbiol.* 18 (5): 1338–1351.
- Young, E., Carey, M., Meharg, A.A., Meharg, C. (2018). Microbiome and ecotypic adaption of *Holcus lanatus* (L.) to extremes of its soil pH range, investigated through transcriptome sequencing. *Microbiome* 6 (1): 48.
- Yu, L., Zi, H., Zhu, H., Liao, Y., Li, X. (2022) Rhizosphere microbiome of forest trees determines their resistance to soil-borne pathogens. *Res. Sq.*; preprint. analysis of microbial communities in the phyllosphere and rhizosphere of rice. *ISME J.* 6: 1378–1390.

- Yun, Y., Wang, H., Man, B., Xiang, X., Zhou, J., Qiu, X., Duan, Y., Engel, A.S. (2016). The relationship between pH and bacterial communities in a single karst ecosystem and its implication for soil acidification. *Front. Microbiol.* 7: 1955.
- Zarraonaindia, I., Owens, S. M., Weisenhorn, P., West, K., Hampton-Marcell, J., Lax, S., Bokulich, N. A, Mills, D. A, Martin, G, Zhou, F., Emonet, A, Denervaud Tendon, V, Marhavy, P., Wu, D., Lahaye, T, Geldner, N. (2020). Co incidence of damage and microbial patterns controls localized immune responses in roots. *Cell* 180: 440–453.
- Zhang, C., He, J., Dai, H., Wang, G., Zhang, X., Wang, C., Shi, J., Chen, X., Wang, D., Wang, E. (2021). Discriminating symbiosis and immunity signals by receptor competition in rice. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 118: e2023738118.

BÖLÜM 7

BUĞDAY VE PAMUK DEPO ALANLARINDAKİ ZARARLI LEPIDOPTER TÜRLERİNE GÜNCEL BİR BAKIŞ

Hasan GÜN¹
Prof Dr. Feza CAN²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13767867>

¹ Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Hatay, Türkiye, hasgun31@gmail.com, Orcid ID: 0000-0001-7077-3904

¹ Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Hatay, Türkiye, fezacan@mku.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-0737-6145

GİRİŞ

Bitki patojeni mikroorganizmalar bitkisel üretimde önemli ekonomik verim kayıplarına neden olmaktadır. Bitki hastalıkları ekonomik açıdan önemli olan ürünler üzerinde hem ticari hem de sosyal açıdan bir takım sıkıntılar ortaya çıkarabilmektedir. Bitki patojenleri tarım endüstrisi için büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Ekonomik açıdan önemli ürünlerin veriminin %40'a kadarı her yıl bitki patojenleri ve zararlılar nedeniyle kaybolmaktadır (FAO, 2019; Savary ve ark., 2019; Baldi ve La Porta, 2020). Bitki hastalıklarıyla ilişkili kayıplar yüksek bir ekonomik yük oluşturmaktadır ve tahmini yıllık ürün kaybı değeri yaklaşık 220 milyar dolar olarak bildirilmiştir (FAO, 2019).

İnsan ve hayvanlar, canlılıklarını devamı için enerjiye dolayısıyla da beslenmeye ihtiyacı duyarlar. Bu beslenme ihtiyacını karşılamak için ülkemizde ve dünya genelinde ilk sırayı buğday almaktadır. Buğdayı bu derece önemli yapan etmenlerden ilki, buğday bitkisinin geniş bir adaptasyon yeteneğine sahip olmasıdır. Buğday bitkisel kaynaklı besinlerden sağlanan kalorisinin dünya genelinde %20'sini karşılamaktadır. Ülkemizde ise yaklaşık %53'ünü karşılamaktadır. Buğday unlu mamuller olmak üzere gıda sektörünün neredeyse her alanında kullanılmaktadır. Yetişkin insanlar günde ortalama 200gr ekmek yiyerek günde harcadığı enerjinin %20-24'ünü, proteinin %26-28 vitaminin %18-42 ve kalsiyumun %6-38'ini karşılayabilmektedir (Özcan ve ark., 2020).

Günümüzde gelişmiş ülkeler yıllık kişi başına düşen tahıl tüketimi 160 kg'a ulaşabilmekte, gelişmekte olan ülkelerde ise bu oran 150 kg civarında seyretmektedir (Alexandratos ve Bruinsma, 2012). Dünya ortalamasına bakıldığında ise bu oran 173 kg'a kadar çıkmaktadır. Buğday tüketimi ABD ve bazı Avrupa ülkelerinde 85-100 kg civarlarında, İtalya'da 144 kg, Özbekistan 173 kg olarak belirtilmektedir. Türkiye'de ise 169 kg dır. Türkiye buğday verimi itibariyle yıllara göre artış göstermiş olmasına rağmen halen dünya ortalaması altındadır.

Verimi etkileyen en önemli faktörlerin başında kaliteli tohum kullanmak gelmektedir. Dünya buğday üretiminde ülkemizin payı %3 tür (Anonim, 2020a).

Ülkemizde buğday üretimi bölgelere göre değerlendirildiğinde en fazla üretim İç Anadolu bölgesinde yapılmaktadır. 2020 yılında üretim alanları İç Anadolu bölgesi %31, Marmara bölgesi %17, Güneydoğu Anadolu bölgesi %16 tir. Üretimin en az olduğu bölgeler ise %7 ile Doğu Anadolu ve Ege bölgesi şeklinde sıralanabilir. (Anonim, 2020b).

Buğdayın kendine döllen bir kültür bitkisi olması ve ekilen tohumların her 3 yılda bir sertifikalı tohumlarla yenilenmesinden dolayıyla ülkemizde her yıl yaklaşık 500 bin ton buğday tohumu kullanılması gerekmektedir (Anonim, 2020c).

Hasat ve depolama ülkemizde buğday için bölgelere göre değişebilmekle birlikte mayıs-ağustos ortaları arasındaki 3,5 aylık bir dönemde yapılmaktadır. Hasat zamanı danedeki nem oranının %11-12 olması olarak tanımlanır. Bitkiler tamamen sarardığı ve tane sertleştiği zaman tarlanın tamamını temsil edilecek şekilde kontroller yapıldıktan sonra hasada başlanmalıdır. Ülkemizdeki buğdayın büyük bir kısmı biçerdöver ile bir kısmı ise arazinin uygun olmaması sebebinden dolayı elle hasat edilmektedir. Uzun süreli depolamalar için depo haşerelerine karşı ilaçlama yapılmalıdır (Süzer, 2017).

Depolanmış ürün zararlıları iklim ve ekolojik koşulların kendileri için elverişli olduğu yerlerde daha yüksek bir hayatta kalma, dolayısıyla da zarar oranına sahiptirler. Yayılış alanlarının artmasında, ülkeler ve kıtalar arası ticaretin rolü büyüktür. Çünkü genellikle larva veya erginin tohumun içinde bulunması nedeniyle yapılan kontrollerde gözden kaçmaktadır. Depolanmış ürünlerdeki bu zararlılar depo ürünlerinde beslenmek, kirletmek ve görsel olarak tahrip etmek gibi farklı şekillerde zarar verebilirler (Çolak ve ark., 2018).

Pamuk, *Gossypium hirsutum* L. Malvaceae familyasına ait önemli bir sanayi bitkisidir. Tropik ve subtropik iklim kuşağında yetiştirilebilen, vejetasyon süresi 5-6 ay süren önemli bir lif bitkisidir. Kış mevsiminde soğuk ve don olan bölgelerde bir yıllık yetiştirilirken tropik bölgelerde çok yıllık çalı veya ağaççık şeklindedir (Grimes ve El-Zik, 1990). Pamuk, tekstil sektöründe kullanımı nedeniyle ülke ekonomisine sağladığı katkı ile küresel ekonomide önemli bir üründür (Yaşar, 2023). Ayrıca pamuk bitkisi çırçır, yağ, yem gibi birçok sanayinin hammaddesi durumundadır (Kantur ve Türkekul, 2021). TÜİK verilerine göre 2020 yılında ülkemizde ekim alanları, %85'ini 6 il (Şanlıurfa, Aydın, Diyarbakır, Hatay, Adana ve İzmir) oluşturmuştur. Lif pamuk üretim miktarı Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde 333 bin ton, Ege Bölgesi'nde 195 bin ton, Çukurova Bölgesi'nde ise 123 bin tondur.

Pamuk yağından yararlanılan bir sanayi bitkisidir. Çiğidinden elde edilen yağ, yemeklik olarak kullanılmaktadır. Yağın alınmasında sonra kalan atık olarak nitelendirilen kısım küspe olarak hayvan beslenmesinde kullanılmaktadır. (Gregory ve ark, 1999).

Pamuk tohumlarında yağ ve protein mevcuttur bunun %12-25 yağ, %22-26 oranında protein mevcuttur. (Mert ve ark., 2004). Pamuk yağı gıda maddesi olarak margarin, salatalarda mayonez yapımında, kızartma yağlarında ve hamur işlerinde kullanılmaktadır (Paralı, 2003). Ayrıca evcil ve büyükbaş hayvan gıdalarında pamuk proteini kullanılmaktadır (Efe, 2004). Pamuk yağı ayrıca sabun ve biyodizel yapımında kullanılarak katma değeri yüksek ürünler elde edilebilmektedir (Paralı, 2003).

Ülkemiz depo alanlarında zararlı yaygın lepidopter türler Pyralidae familyasından *Cadra cautella* (Walker) (İncir Kurdu), *C. figulilella* (Gregson) (Kuru Üzüm Güvesi), *Ephestia elutella* (Hübner) (Tütün Güvesi), *E. kuehniella* Zeller (Değirmen Güvesi), *Paralipsa gularis* (Zeller) (İç Fındık Güvesi), *Plodia interpunctella* (Hübner) (Kuru Meyve Güvesi), *Pyralis farinalis* (L.) (Un Güvesi); Gelechiidae familyasından

Phthorimaea operculella (Zeller) (Patates Güvesi), *Sitotroga cerealella* (Olivier) (Arpa Güvesi) ve Tineidae familyasından *Nemapogon granella* (L.) (Ekin Ambar Güvesi), *Tineola bisselliella* (Hummel) (Elbise Güvesi) *T. pellionella* (L.) (Yün Güvesi) olarak sıralanabilir (Yıldırım ve ark., 2014).

Değirmen güvesi, *Ephestia kuehniella* (Zeller, 1879) larvaları asıl zararını unda yapmaktadır. Bazen ise hububatta, kepekte, ekmekte, kuru meyvelerde, bisküvilerde, palamutta, kakaoda ve pamuk gibi ürünlerde de zararlıdırlar. Yiyerek, ipliksi maddelerle ürünü birbirine bağlayarak, bıraktıkları gömlek artığı, dışkı gibi kalıntılarla kirletme gibi zararlar verebilirler (Anonim, 1995; Anonim, 2016).

Kuru meyve güvesi olarak bilinen *Plodia interpunctella* (Hübner, 1813) kuru incir, kuru kayısı, fındık, kuru üzüm, yağlı tohumlar, pamuk, soya hububat, un ve mamulleri, kakao ve baharatta farklı biyolojik dönemlerini geçirip zarar verirler, erginler pupa döneminden çıkınca çiftleşip, yumurta bırakmaya başlarlar. Dişiler ergin hale geldikten sonra 2–4 hafta yaşar ve bir dişi 300–400 kadar yumurta bırakabilirler. Bu zararlı, popülasyonu ve zararı yüksek olduğu dönemlerde ürünün üzerini bir ağ örtüsü ile kapatabilir. Buğday ve çavdar gibi tahıllarda yalnızca embriyoyu yiyerek beslenirler. Bu şekilde bu ürünler tohumluk özelliğini kaybeder. Mısırdaki ise endospermi de yiyebilirler (Anonim, 1995; Anonim, 2016).

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Laboratuvar Çalışmaları

2.1.1. Lepidopter Türlerin Belirlenmesi

Hatay ili pamuk ve buğday depolarında yapılan çalışmalarda alınan numuneler, hazırlanan kültür kafeslerinde bekletilerek ergin çıkışları gözlenmiştir (Şekil 2.1 ve 2.2). Lepidoptera takımının dış genital organlarının sabit morfolojik karakterler göstermeleri nedeniyle, tür teşhisleri amacıyla genital prepartları hazırlanmıştır (Doğanlar,

2003). Teşhis sonuçlarına göre türlerin değirmen güvesi *Ephestia kuehniella* Zeller, 1879 ve kuru meyve güvesi *Plodia interpunctella* (Hübner, 1813) oldukları belirlenmiştir (Şekil 2.3. ve 2.4).



Şekil 2.1. Buğday Kültür Kafesi



Şekil 2.2 Pamuk Kültür Kafesi



Şekil 2.3. Değirmen güvesi, *Ephesia kuehniella* Zeller, 1879



Şekil 2.4. Kuru meyve güvesi *Plodia interpunctella* (Hübner, 1813)

2.2. Depo Çalışmaları

Depolarda bulunan lepidopter türler ve bulaşıklık oranını belirlemek amacı ile yapılan örneklemelerde; yapışkan plaka, feromon tuzakları kullanılarak ve gözle kontrol yöntemi ile lepidopter örnekler toplanmıştır.

Çalışma Hatay ili içerisinde toplamda 10.000 m² kapalı alanda eşit olarak bölünmüş 250 m² 4 adet yatay depoda muhafaza edilmiş buğday ve pamuk depo alanlarında bulunan lepidopter türleri ve bulaşıklık oranlarını belirlemek amacı ile yapılmıştır.

Bu çalışmalarda buğdaylar depolarda yığın (dökme) olarak, pamuklar ise 1 tonluk bigbagler şeklinde ve her bir depoda 200 bigbag olacak şekilde stoklanmıştır (Şekil 2.5). Buğday çalışması sırasında depolardan her beş metrede bir adet numune alınarak homojen numune alımı sağlanmıştır. Numune alma işlemi için 1,5 m uzunluğundaki numune alma sondası yardımı ile 500 gr numuneler alınıp numuneler laboratuvar ortamında kontrol edilerek içinde bulunan lepidopter türlerin larvaları ve pupaları sayılıp daha sonra kültür kafeslerine alınarak erginlerin çıkışı gözlenip, türlerin teşhisi yapılmıştır. Bu işlemler haziran ayı başlarında Hatay bölgesinde buğday hasadı başlayıp buğdayların depolara girmesiyle birlikte her 20 günde bir kere her depodan 10 adet numune alınacak şekilde kontrollere başlanılmış olup, eylül ayı başlarına kadar devam etmiştir. Kontroller esnasında çıkan sonuçlar yazılı ve görsel olarak arşivlenmiştir.

Pamuk tohumları ocak ayı başlarından itibaren havsız olarak 1 tonluk bigbaler de stoklanmış olup belirlenen 4 adet 250m² depolarda, toplamda 800 ton bulunan havsız pamuk tohumları ile çalışma yapılmıştır. Her depoda bulunan 200 adet bigbaglerden 25 cm uzunluğundaki ve 1 m uzunluğundaki 2 adet numune sondası yardımı ile 250 gr numuneler alınıp laboratuvar ortamında kontrol edilip numunelerde bulunan pupalar ve larvalar sayıldıktan sonra kültüre alınıp ergin çıkışları gözlenip türler belirlenmiştir.

Buğday ve pamuk zamanlarında depolarda feromon tuzakları asılıp düzenli olarak bu tuzaklar 15 günde bir kontrol edilerek çıkan erginler sayılıp laboratuvar ortamında türler belirlenmiştir (Şekil 2.6).



Şekil 2.5. Depo bigbag, asılı tuzak ve depo görseli



Şekil 2.6. Feromon tuzaklara yakalanan değirmen güvesi, *Ephestia kuehniella* Zeller, 1879 ve kuru meyve güvesi *Plodia interpunctella* (Hübner, 1813) erginleri

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Çalışma, Hatay ilinde, toplamda 10.000m² kapalı alanda, eşit olarak bölünmüş 250 m² 4 adet yatay depoda muhafaza edilmiş buğday ve pamuk depo alanlarında bulunan lepidopter türleri ve bulaşıklık oranlarını belirlemek amacı ile yapılmıştır. Belirlenen 1-3-5-7 numaralı

depolarında feromon tuzakları, nem ve sıcaklık ölçer asılarak 15 gün ara ile bu tuzaklar, nem ve sıcaklık ölçme cihazları kontrol edilmiştir. Ayrıca depolarından her 20 günde bir, 10 farklı yerden 250 gr numuneler alınarak zararlı lepidopter türler belirlenmeye çalışılmıştır. Daha sonra numuneler, hazırlanan kültür kafeslerinde bekletilerek ergin çıkışları gözlenip çıkan erginlerde tür teşhisi yapılmıştır. Feromon tuzaklarından da elde edilen erginlerin genital organ preparatları hazırlanmış ve türlerin değirmen güvesi değirmen güvesi, *Ephestia kuehniella* Zeller, 1879 ve kuru meyve güvesi *Plodia interpunctella* (Hübner, 1813) oldukları tespit edilmiştir.

Pamuk için 1-3-5-7 numaralı depolarda yapılan kontroller ve çıkan sonuçlar aşağıdaki çizelgede belirtilmiştir (Çizelge 3.1, 3.2, 3.3, 3.4).

Çizelge 3.1: Depo 1 Yapılan Kontrollerde Okunan Sıcaklık, Nem, Lepidopter Sayısı ve Türü

Tarih	Depo Sıcaklık (°C)	Depo Nem (%)	Gözlenen Lepidopter Sayısı	Gözlenen Lepidopter Türü-Sayısı
5.01.2020	15	42	0	0
25.01.2020	13	38	0	0
14.02.2020	15	45	0	0
5.03.2020	15	42	3	<i>Ephestia kuehniella</i>
25.03.2020	17	40	5	<i>Ephestia kuehniella</i>
14.04.2020	20	42	5	<i>Ephestia kuehniella</i> -3 <i>Plodia interpunctella</i> -2
4.05.2020	21	40	7	<i>Ephestia kuehniella</i> -5 <i>Plodia interpunctella</i> -2

Çizelge 3.2: Depo 3 Yapılan Kontrollerde Okunan Sıcaklık, Nem, Lepidopter Sayısı ve Türü

Tarih	Depo Sıcaklık (°C)	Depo Nem (%)	Gözlenen Lepidopter Sayısı	Gözlenen Lepidopter Türü- Sayısı
5.01.2020	15	42	0	0
25.01.2020	13	38	0	0
14.02.2020	15	45	0	0
5.03.2020	15	42	1	<i>Ephestia kuehniella</i>
25.03.2020	17	40	2	<i>Ephestia kuehniella</i> <i>Plodia interpunctella</i>
14.04.2020	20	42	2	<i>Ephestia kuehniella</i> <i>Plodia interpunctella</i>
4.05.2020	21	40	3	<i>Ephestia kuehniella</i>

Çizelge 3.3: Depo 5 Yapılan Kontrollerde Okunan Sıcaklık, Nem, Lepidopter Sayısı ve Türü

Tarih	Depo Sıcaklık (°C)	Depo Nem (%)	Gözlenen Lepidopter Sayısı	Gözlenen Lepidopter Türü Sayısı
5.01.2020	15	42	0	0
25.01.2020	13	38	0	0
14.02.2020	15	45	1	<i>Ephestia kuehniella</i>
5.03.2020	15	42	4	<i>Ephestia kuehniella</i>
25.03.2020	17	40	4	<i>Ephestia kuehniella</i> <i>Plodia interpunctella</i>
14.04.2020	20	42	7	<i>Ephestia kuehniella</i> <i>Plodia interpunctella</i>
4.05.2020	21	40	8	<i>Ephestia kuehniella</i>

Çizelge 3.4: Depo 7 Yapılan Kontrollerde Okunan Sıcaklık, Nem, Lepidopter Sayısı ve Türü

Tarih	Depo Sıcaklık (°C)	Depo Nem (%)	Gözlenen Lepidopter Sayısı	Gözlenen Lepidopter Türü Sayısı
5.01.2020	15	42	0	0
25.01.2020	13	38	0	0
14.02.2020	15	45	3	<i>Ephestia kuehniella</i>
5.03.2020	15	42	4	<i>Ephestia kuehniella</i>
25.03.2020	17	40	5	<i>Ephestia kuehniella</i> <i>Plodia interpunctella</i>
14.04.2020	20	42	8	<i>Ephestia kuehniella</i> <i>Plodia interpunctella</i>
4.05.2020	21	40	12	<i>Ephestia kuehniella</i> <i>Plodia interpunctella</i>

Buğday için 1-3-5-7 numaralı depolarda yapılan kontroller ve çıkan sonuçlar aşağıdaki çizelgelerde belirtilmiştir (Çizelge 3.5, 3.6, 3.7, 3.8)

Çizelge 3.5: Depo 1 Yapılan Kontrollerde Okunan Sıcaklık, Nem, Lepidopter Sayısı ve Türü

Tarih	Depo Sıcaklık (°C)	Depo Nem (%)	Gözlenen Lepidopter Sayısı	Gözlenen Lepidopter Türü- Sayısı
5.06.2020	20	40	0	0
23.06.2020	22	42	0	0
12.07.2020	25	40	0	0
26.07.2020	27	45	5	<i>Ephestia kuehniella</i>
9.08.2020	27	42	7	<i>Ephestia kuehniella</i>
25.08.2020	25	38	6	<i>Ephestia kuehniella</i>
15.09.2020	20	40	4	<i>Ephestia kuehniella</i>

Çizelge 3.6: Depo 3 Yapılan Kontrollerde Okunan Sıcaklık, Nem, Lepidopter Sayısı ve Türü

Tarih	Depo Sıcaklık (°C)	Depo Nem (%)	Gözlenen Lepidopter Sayısı	Gözlenen Lepidopter Türü-Sayısı
5.06.2020	20	40	0	0
23.06.2020	22	42	0	0
12.07.2020	25	40	2	<i>Epehstia kuehniella</i>
26.07.2020	27	45	1	<i>Epehstia kuehniella</i>
9.08.2020	27	42	2	<i>Epehstia kuehniella</i>
25.08.2020	25	38	6	<i>Epehstia kuehniella</i>
15.09.2020	20	40	10	<i>Epehstia kuehniella</i>

Çizelge 3.7: Depo 5 Yapılan Kontrollerde Okunan Sıcaklık, Nem, Lepidopter Sayısı ve Türü

Tarih	Depo Sıcaklık (°C)	Depo Nem (%)	Gözlenen Lepidopter Sayısı	Gözlenen Lepidopter Türü- Sayısı
5.06.2020	20	40	0	0
23.06.2020	22	42	0	0
12.07.2020	25	40	3	<i>Epehstia kuehniella</i>
26.07.2020	27	45	5	<i>Epehstia kuehniella</i>
9.08.2020	27	42	3	<i>Epehstia kuehniella</i>
25.08.2020	25	38	7	<i>Epehstia kuehniella</i>
15.09.2020	20	40	4	<i>Epehstia kuehniella</i>

Çizelge 3.8: Depo 7 Yapılan Kontrollerde Okunan Sıcaklık, Nem, Lepidopter Sayısı ve Türü

Tarih	Depo Sıcaklık (°C)	Depo Nem (%)	Gözlenen Lepidopter Sayısı	Gözlenen Lepidopter Türü- Sayısı
5.06.2020	20	40	0	0
23.06.2020	22	42	0	0
12.07.2020	25	40	0	0
26.07.2020	27	45	5	<i>Ephestia kuehniella</i>
9.08.2020	27	42	7	<i>Ephestia kuehniella</i>
25.08.2020	25	38	6	<i>Ephestia kuehniella</i>
15.09.2020	20	40	4	<i>Ephestia kuehniella</i>

Bu çalışma, Hatay ili Antakya Organize Sanayi Bölgesinde 2020 yılında buğday ve pamuk depolama alanlarında bulunan depo zararlıları lepidopter türlerin belirlenmesi için yapılmıştır. Çalışma ile tespit edilen değirmen güvesi, *E. kuehniella* ve kuru meyve güvesi *P. interpunctella*'nın zarar şekilleri ve üreme dönemleri gözlemlenmiştir. Pamuk depolarında her iki türün de zararlı olduğu belirlenirken, buğday depolarında sadece değirmen güvesi tespit edilmiştir. Hem pamuk hem de buğday depo alanlarında zararlı olduğu tespit edilen değirmen güvesi, *E. kuehniella*'nın olgun larvalarının genellikle korunaklı yerlerde, bazen de beslendikleri tohumların kabuklarını birbirine birleştirerek ördükleri ağlar içinde pupa oldukları görülmüştür (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Değirmen güvesi, *Ephestia kuehniella* Zeller, 1879 zararı, larvası ve pupası

Yücel (1988), Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki un fabrikaları ve un değirmenlerinde de en yaygın ve en yoğun ikinci zararlı türün değirmen güvesi olduğunu ifade etmiştir. Ankara ili ve ilçelerinde bulunan buğday ve arpa depolarında zarar yapan böcek türlerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada ise sadece Coleoptera takımından Curculionidae, Tenebrionidae, Bostrichidae, Laemophloeidae, Silvanidae, Dermestidae familyalarına ve Psocoptera takımı Liposcelididae familyalarına ait toplam 9 tür tespit edildiği ifade edilmiştir (Bağcı ve ark., 2014). Edirne İlinde depolanmış buğday ve un fabrikalarında bulunan zararlı böceklerin saptanması amacıyla 2017–2018 yılları arasında yapılan sürvey sonucunda, lepidopter zararlılardan *E. kuehniella* ve *P. interpunctella*'nın bulaşık olduğu belirlenmiştir (Toğantimur, 2019).

Havları alınmış pamuk tohumlarında yumurtadan çıkan larvalar tohumların içini yiyerek beslenmektedir. Bu beslenme sırasında dışarı talaş şeklinde dışkıları bırakarak zarar verdikleri yerlerde belirgin olarak görülmektedirler. Bu durum yağ ve yem olacak tohumları ekonomik olarak çok etkilememektedir. Fakat tohumluk olacaklar için önemli ölçüde ekonomik zararlıdır. Tohumun içini boşaltan larvalar çimlenmeyi

yüksek oranda etkilemektedir. Buğdayda yaptıkları en belirgin zararları tohumun embriyosunu yiyerek tohumun çimlenmemesine neden olmaktadır. Depolarda zararlı türler farklı ürünlerde ve farklı ekolojik koşullarda değişiklik göstermektedir.

Hasat zamanı ve depolama ise iklim koşullarına, pamuk çeşidine ve ekim zamanına göre değişir. Pamuk hasadına kozaların en az % 60' ı açığında başlanmalıdır. Pamuk hasadında dikkat edilecek en önemli konu, pamuğun yaş ve çepelli toplanmamasıdır. Gerekli işlemlerden geçirilen kütlü pamuklar daha sonra balyalanıp kuru yerlerde depolanabilir. Fakat çıkan çiğitlerin havalanabilir ve rutubetsiz ortamlarda depolanması gerekmektedir (Mart, 2001).

Depo zararlısı lepidopter türler ile mücadele oldukça zordur. Genelde larvalar zararı tohumun içinde yaptıkları için mücadele yöntemleri ona göre belirlenmelidir. Bu türler ile mücadelede entegre mücadele yöntemi tercih edilmelidir. Depolar ürünler girmeden iyice temizlenmeli daha önceki yıllardan bulaşıklık varsa depolara kimyasal ilaçlarla boş depo ilaçlanmalıdır. Daha sonra ürünlerin hava alacak şekilde tasnif edilmesi önerilebilir. Depoların kapıları ve pencereleri ince tel örgüler ile kapatılmalı dışarıdan içeri girişleri önlenmelidir. Popülasyon takibi için feromon tuzaklar kullanılması etkilidir. Uygulanan fiziksel, kültürel önlemler yetersiz kaldığında kimyasal mücadele gerekli olabilmektedir. Kimyasal mücadelede zararlı lepidopter türlerin hangi gelişme döneminde olduğunun tespit edilmesi önem arz etmektedir.

Bilgilendirme: Bu makale, Hasan Gün'ün 2022 Nisan ayında kabul edilmiş olan “Buğday ve Pamuk Depo Alanlarında Zararlı Lepidopter Türler ve Bulaşıklık Oranının Belirlenmesi” adlı Yüksek Lisans tezinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

KAYNAKÇA

- Abdelfattah, A., Malacrinò, A., Wisniewski, M., Cacciola, S. O., and Schena, L. (2018). Metabarcoding: A powerful tool to investigate microbial communities and shape future plant protection strategies. *Biol. Control* 120: 1–10.
- Alexandratos, N. and Bruinsma, J. (2012). World Agriculture towards 2030/2050: The 2012 Revision. Food and Agriculture Organization (FAO), Rome. Paper No. 12-03. <https://ageconsearch.umn.edu/record/288998/>
- Anonim, (1995). Zirai mücadele teknik talimatları. T.C. Tarım ve Köy işleri Bakanlığı, Koruma ve Kontrol Genel Müdürlüğü. Cilt-2, Ankara.
- Anonim, (2016). Hububat hastalık ve zararlıları ile mücadele yöntemleri https://www.tarimorman.gov.tr/GKGM/Belgeler/Bitki%20Sa%C4%9Fl%C4%B1%C4%9F%C4%B1%20Hizmetleri/hastalik_zararlıları_ile_m%C3%BCcadele_do_kumanları/hububat.pdf
- Anonim, (2020a). BM Gıda ve Tarım Örgütü (FAO)* Ortalama buğday ve ürünleri arzı. *euronews*: <https://tr.euronews.com/2022/08/08/dunyada-en-cok-bugday-tuketken-ulkeler-hangileri-turkiyenin-bugday-ithalati-ve-ihracati>.
- Anonim, (2020b). *Hububat Sektörü Raporu*, Toprak Mahsülleri Ofisi Genel Müdürlüğü 44s. Toprak Mahsulleri Ofisi: <https://www.tmo.gov.tr/Upload/Document/sektorraporları/hububat2020.pdf>
- Anonim, (2020c). Bitkisel Üretim verileri. T.C. Tarım Ve Orman Bakanlığı, 21s. <https://www.tarimorman.gov.tr/sgb/Belgeler/SagMenuVeriler/BUGEM.pdf>
- Bağcı, F., Yılmaz, A. & Ertürk, S. (2014). Ankara ili hububat depolarında bulunan zararlı böcek türleri. *Bitki Koruma Bülteni*, 54 (1): 69-78. ISSN 0406-3597
- Çolak, E. Ş., Canhilal, R. & Yüksel, E. (2018). Depolanmış Ürün Zararlılarıyla Mücadelede Rezidüel Pestisit Uygulamaları. *Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi*, 1(1), 8-18. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/566437>
- Doğanlar, F. (2003). Doğu Akdeniz Bölgesi Geometridae (Lepidoptera) Familyası Üzerinde Faunistik ve Sistemik Araştırmalar (Systematic and Faunistic studies of Geometridae (Lepidoptera) in the east Mediterranean region of Turkey). *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana*, 274 pp.

- Efe, L. (2004). Performance evaluation of ‘Glandless-86’ cotton variety under conditions of East Mediterranean Region of Turkey. Plenary Meeting of Inter-Regional Cooperative Research Network on Cotton, Thessaloniki, Greece, 29 September- 2 October, 2004, p.85-91.
- Gregory, S.R., E. Hernandez & Savoy, B.R. (1999). Cottonseed Processing. In: W.C. Smith and J.T. Cothren (Eds.). Cotton: Origin, History, Technology and Production. p.793-819.
- Grimes, D.W.& El-Zik, K.M. (1990). Cotton. In: Stewart, B.A., D.R Nielsen (Eds.), Irrigation of agricultural Crops-Agronomy Monograph no:30, p.741-748.
- Kantur, Ç.& Türkekul, B. (2021). “International competitiveness of the Turkish cotton and cotton weaving products: a constant market share and revealed comparative advantage analysis”, Journal of Agriculture Faculty of Ege University, 58 (4): 615-628. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.871428>.
- Mart, C. (2001). Amik Ovası’nda pamuk alanlarında zararlı pembekurt, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen ve Mühendislik dergisi, 4 (2):156-163.
- Mert, M., Ş. Kurt, O. Gençer, Y. Akışcan, M. F. Tok, K. Boyacı & M. Zengel (2004). *Verticillium* solgunluğu (*Verticillium dahliae* Kleb.) hastalığına dayanıklı pamuk hatlarının elde edilmesi üzerine araştırmalar. TÜBİTAK, TOGTAG-2778,2004.
- Özcan, H., Bayramoğlu, H. O. & Aydın, N., (2020). *Buğday Tarımı Önemi*. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı: <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/ktae/Belgeler/brosurler/Bu%C4%9Fday%20Tar%C4%B1m%C4%B1.pdf>
- Paralı, H. (2003). Pamuk yağı rafinasyonu ve pamuk yağı işleme teknolojilerinin yan ürünlerinin irdelenmesi. Pamuk Eğitim Semineri Notları, 14-17 Ekim 2003, s.207-221.
- Süzer, S. (2017). Kaliteli Buğday Yetiştiriciliğinde Azotlu Gübrelemenin Önemi. Köyüm Dergisi. 12: 48-56.
- Toğantimur, O. (2019). Edirne İlinde Depolanan Buğday ve Un Fabrikalarında Tespit Edilen Zararlı Böcekler Üzerine Araştırmalar. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitki Koruma Anabilim Dalı. 50 s.

- Yaşar, M. (2023). "Yield and fiber quality traits of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cultivars analyzed by biplot method", Journal of King Saud University-Science, 35(4), 102632.
- Yıldırım, E., Özbek H. & Aslan, İ. (2014). Depolanmış Ürün Zararlıları ve Mücadele Yöntemleri (Dördüncü Baskı). Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Tesisi, Erzurum, 121 s.
- Yücel, A. (1988). Güneydoğu Anadolu Bölgesinde un fabrikaları ve un değirmenlerinde bulunan zararlılar ve zarar durumları üzerinde ön çalışmalar. Bitki Koruma Bülteni 1988 28 (1-2): 51-77.

BÖLÜM 8

YABANCI OTLARLA FİZİKSEL MÜCADELEDE YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR

Doç. Dr. Reyyan YERGİN ÖZKAN¹
Dr. Enes FİDAN²
Prof. Dr. Işık TEPE³

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13767872>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Van, Türkiye, reyyanyergin@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-2319-404X

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Van, Türkiye, enesfidan@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-4567-2375

³ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Van, Türkiye, itepe@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-9156-9467

GİRİŞ

Bitki patojeni mikroorganizmalar bitkisel üretimde önemli ekonomik verim kayıplarına neden olmaktadır. Bitki hastalıkları ekonomik açıdan önemli olan ürünler üzerinde hem ticari hem de sosyal açıdan bir takım sıkıntılar ortaya çıkarabilmektedir. Bitki patojenleri tarım endüstrisi için büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Ekonomik açıdan önemli ürünlerin veriminin %40'a kadarı her yıl bitki patojenleri ve zararlılar nedeniyle kaybolmaktadır (FAO, 2019; Savary ve ark., 2019; Baldi ve La Porta, 2020). Bitki hastalıklarıyla ilişkili kayıplar yüksek bir ekonomik yük oluşturmaktadır ve tahmini yıllık ürün kaybı değeri yaklaşık 220 milyar dolar olarak bildirilmiştir (FAO, 2019).

Yabancı otlar, verim ve ürün kalitesinde büyük kayıplara neden olmalarının yanı sıra hasadı zorlaştırırlar, aynı zamanda hastalık ve zararlılar için de birer ara konukçudurlar. Söz konusu verim kayıpları kültür bitkisinin türüne, çevre şartlarına ve kullanılan mücadele yöntemine bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Yabancı otlar benzer şekilde, tarım dışı alanlarda da bazı sorunlar yaratabilir. Oerke (2005), yabancı otların ürün veriminde %34'lük bir azalmaya neden olabileceğini ifade etmiştir. Kraehmer ve Baur (2013), yabancı otların küresel ekonomi üzerindeki etkisinin 100 milyar ABD dolarını aştığını; Appleby ve ark. (2000) ise mücadele maliyetinin milyarlarca dolar olduğunu ifade etmişlerdir. Yabancı otların bu olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için hem tarımsal hem de tarım dışı alanlarda yabancı ot kontrolünde fiziksel, mekanik, biyolojik ve kimyasal olmak üzere dört farklı mücadele yöntemi kullanılmaktadır. İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra çoğunlukla gelişmiş ülkelerde herbisitler verimliliği artırmak için kullanılmış ve bunun bir sonucu olarak çevreye ciddi zararları olmuştur. Herbisitlerin yanlış kullanımı, herbisite dirençli yabancı otların sayısında da önemli bir artışa yol açarak mücadelelerini zorlaştırmıştır. Bu sorunu çözmek amacıyla üreticiler, daha yüksek dozlar kullanmışlar ve daha sık ilaçlama yapmaya başlamışlardır. Ancak bu yaklaşım sorunun temel

nedenini çözmeye yardımcı olmamış ve çevreye daha fazla zarar vermiştir (Scavo ve Mauromicale, 2005). Herbisitlerin aşırı kullanımı aynı zamanda herbisite dirençli yabancı otların hızla evrimleşmesine de yol açmıştır (Kılıç ve Kaya, 2019). Günümüzde direnç ile ilgili yapılan çalışmalar sonucu 72 ülkede, 101 üründe bilinen dirençli yabancı ot tür sayısı 273'tür (URL 1, 2024) Her ne kadar herbisitlerin kullanımı, yabancı otlarla mücadelede düşük maliyetli ve etkili olduğu için tercih edilen bir yöntem olsa da son yıllarda tüketicilerin organik ürünlere yönelmesi ve çevreye daha duyarlı hale gelmesiyle birlikte kimyasal mücadele sürdürülebilir olmaktan uzaklaşmıştır (Slaughter ve ark., 2008). Tüm bu sebeplerin yanı sıra yoğun tarım uygulamaları, değişen iklim ve doğal afetler yabancı ot dinamiklerini etkilemekte, bu durum ise yabancı ot mücadele protokollerinde değişiklik yapılmasını gerektirmektedir (Bajwa ve ark., 2015).

Tarımsal alanlarda hem çevresel zararı azaltmak hem de yabancı ot seviyelerini ekonomik zarara neden oldukları noktanın altında tutmak için kullanılabilir tek bir etkili teknik yoktur. Bu nedenle, iki veya daha fazla mücadele yönteminin bir arada kullanıldığı entegre mücadele yönetimi (IWM) ön plana çıkmaktadır. Herbisit ve çapalama, özellikle sıraya ekilen ürünlerde entegre mücadelenin en iyi örneklerindedir. Herbisitler, çapalama veya diğer yöntemlerle tamamen yok edilemeyen bazı yabancı otları ortadan kaldırarak ürün verimini artırılmasına yardımcı olur (Slaughter ve ark., 2008). Bu yönüyle herbisit uygulamaları her ne kadar ekonomik katkı ve iş gücünden kazanç sağlıyor gibi görünse de özellikle mekanik mücadele seçeneklerinin işgücü sıkıntısı nedeniyle artık uygulanabilir olmaması; kimyasal mücadelede ise yukarıda bahsedilen mevcut sorunlar sebebiyle etkinliğinin azalması yabancı ot mücadelesinin pratikte sınırlı kalmasına neden olmaktadır. Tüm bu nedenler araştırmacıları uygulanabilir ve geleneksel olmayan yabancı ot yönetimi stratejilerini araştırmaya yönlendirmiştir. Bu bağlamda fiziksel mücadele yöntemleri uygun bir

yöntem olarak ön plana çıkmaktadır. Günümüzde teknolojinin hızlı büyümesi çok sayıda sektöre entegrasyonunu da gerçekleştirmiştir. Bu sektörlerden biri de tarımdır. Bu entegrasyona kısa süre içinde dahil olan yeni fiziksel mücadeledeki teknikleri bulunmaktadır. Fiziksel yabancı ot mücadelesi, manuel, hayvansal veya mekanik teknikler gibi çeşitli yöntemleri kapsamaktadır. En yaygın fiziksel yabancı ot kontrol tekniklerinden biri biçme veya kesmedir. Biçme, özellikle yabancı otlar çiçek açıp tohum bağlamadan önce yapıldığında tohum üretimini yavaşlatabilir ve yabancı ot büyümesini sınırlayabilir (URL 2, 2024). Ancak bu yaklaşım tüm yabancı ot türleri için etkili olmayabilir, çünkü bazıları biçildikten sonra daha güçlü bir şekilde yeniden çıkış yapabilir. Diğer bir fiziksel yöntem ise yabancı otları fiziksel olarak kökünden söken toprak işleme aletlerinin kullanılmasıdır (Jasinskas ve ark., 2015; Woyessa 2022). Ancak bu yöntem tohum veya vejetatif yollar ile yeni yabancı otların mevcut ekosisteme girişini de sağlayabilmektedir (URL 3). Saman, talaş veya gazete kâğıdı gibi organik malç malzemeleriyle toprak yüzeyinin kaplanması da etkili bir fiziksel yabancı ot kontrol tekniği olabilir. Malçlar ışığı engelleyerek yabancı ot büyümesini fiziksel olarak bastırırken, nem tutma ve toprağı iyileştirme gibi başka faydalar da sağlayabilmektedir (Matković ve ark., 2015; URL 4, 2024).

Alevleme yöntemi, buhar veya kızılötesi teknolojisinin kullanımı ile bitkileri ısıya maruz bırakarak yabancı ot kontrolü sağlayabilen bir başka fiziksel yaklaşımdır (Şahin 2019). Bu yöntemler herbisit kullanımının sınırlı olduğu organik ve korumalı tarım sistemlerinde özellikle fayda sağlamaktadır (Fontanelli ve ark., 2015).

Fiziksel yabancı ot kontrol yöntemleri genellikle diğer mücadele teknikleri ile entegre olarak kullanıldığında daha etkili ve sürdürülebilir olmaktadır (Hatcher ve Melander, 2003; Müller-Schärer ve Collins, 2020). Fiziksel yabancı ot yönetimi teknikleri yoğun emek gerektirse de özellikle organik ve küçük ölçekli tarım işletmelerinde otomatik ve

robotik sistemler bu yaklaşımları daha uygulanabilir ve verimli hale getirmektedir (Bahadur ve ark., 2015; Fontanelli ve ark., 2015).

Bu bölümde, yabancı otlarla mücadelede kullanılan fiziksel yöntemlerin yenilikçi yaklaşımları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Geleneksel yöntemlerin modern teknolojiler ile entegrasyonu, bu yenilikçi yaklaşımların etkinliği, maliyeti ve sürdürülebilirliği üzerine yapılan araştırmalar değerlendirilmiştir.

1. Isıl (Termal) Yöntemler

Isıl (termal) yabancı ot kontrol teknolojisi, başta organik tarım olmak üzere farklı tarım sistemlerinde yabancı otların mücadelesinde önemli bir rol oynamaktadır (Peerzada ve Chauhan, 2018; Martelloni ve ark., 2019). Bu yöntemler tarım alanlarında olduğu gibi tarım dışı alanlarda da başarılı bir şekilde uygulanabilmektedir (Çolakoğlu ve Kitiş, 2014; Gürbüz ve ark., 2019). Isıl yabancı ot kontrolü, bir enerji kaynağından çıkan ısının lokal olarak bitkilere aktarılmasıyla yüksek sıcaklığın yabancı otlara verdiği zarar ile açıklanabilir. Günümüzdeki ticari uygulamalarda, ısıl yabancı ot kontrol yöntemleri daha çok kültür bitkilerinin yabancı otlara karşı rekabette zayıf olduğu durumlarda kullanılmaktadır (Bauer vd., 2020). Isıl yöntemler genellikle bitkilerin toprak üstü kısımlarını etkiler. Ancak çok yıllık gibi bazı yabancı otlar toprak altındaki bileşenlerinden dolayı yeniden gelişebilir ve bu nedenle ısıl kontrolün tekrar uygulanması gerekebilir (Kup ve Sağlam, 2014; Peerzada ve Chauhan, 2018).

Isıl yabancı ot kontrolünde amaç, ısının bitkinin herhangi bir organına (yaprak, gövde, çiçek vb.) aktarılması ile proteinlerin denatürasyonunu sağlayarak bitkinin hücre yapılarının bozulmasına sebep olmaktır (Cederlund ve Börjesson, 2016; Melander ve ark., 2017). Yüksek sıcaklıklar, membran parçalanmasına, protein denatürasyonuna ve enzim deaktivasyonuna sebep olarak fizyolojik fonksiyonların çoğunu bozar ve sonuçta bu durum bitki dokuları için öldürücü etki

gösterir (Bajwa ve ark., 2015). Ayrıca ısı hasarı protoplast genişlemesini ve parçalanmasını sağlayarak bitkinin kurumasına da neden olur (Ellwanger ve ark., 1973). Bitkilerin ısı enerjisine maruz kalma süresine bağlı olarak protein denatürasyonu 45°C sıcaklıkta başlar (Sutcliffe, 1977; Levitt, 1980). Bitkilerin 45-55°C arasındaki yüksek sıcaklıklara uzun süre maruz kalması bitki ölümüyle sonuçlandığı için bu durum, ısı veya yüksek sıcaklığı içeren yabancı ot yönetimi stratejilerinin geliştirilmesinin temelini oluşturmuştur (Zimdahl ve Basinger, 2024). Günümüzde yabancı otların kontrolünde kullanılan bazı ısıl (termal) yöntemler ve robotikler aşağıda ayrıntılı bir şekilde verilmiştir:

1.1. Alevleme

Alevleme, bitki hücrelerini parçalamak için yoğun ısı dalgasının kullanıldığı en yaygın ısıl yabancı ot kontrol yöntemidir. Bu yöntemde el tipi alevleyiciler olmak üzere küçük ölçekli aletler, sebze yetiştiriciliğinde traktöre monteli sistemler ve sıralı ekimde büyük ölçekli sistemler kullanılmaktadır (Bond ve Grundy, 2001).

Alevleme uygulamaları açık ve korumalı alev şeklinde yapılabilir. Açık alev uygulamalarında önemli ısı kayıpları meydana gelir ve kültür bitkileri zarar görebilir. Bu hasarı kısmen önlemek için sivri uçlu alev başlıkları kullanılır. Bu tür alev başlıklarının genişliğinin düşük olması nedeniyle çok sayıda alev başlığına ihtiyaç duyulmakta ve bu da yakıt tüketimini artırmaktadır. Isı kayıplarını önlemek, kültür bitkilerine olası zararı azaltmak ve her alev başlığının çalışma genişliğini arttırmak için aleve dayanıklı başlıklar (jet tipi) kullanılmalıdır. Özellikle herbisit kullanımının yasak veya kısıtlı olduğu organik tarım sistemlerinde yabancı ot kontrolü için sıklıkla bu yöntem tercih edilir (Sivesind ve ark., 2009).

Alevleme uygulaması kültür bitkilerinin ekim öncesi, çıkış öncesi veya şaşırtma işlemi yapılmadan önceki dönemlerinde kullanılabilir (Peruzzi ve ark., 2007). Alevleme tekniğinin geniş yapraklı yabancı

otların mücadelesinde daha etkili olduğu bildirilmiştir (Cisneros ve Zandstra, 2008). Bu teknikte genellikle havuç ve diğer yavaş gelişen sıralı bitkilerde çıkış öncesi yabancı ot kontrolü için tek bir uygulama yeterli olmaktadır (Dierauer ve Stöppler, 1994; Rasmussen ve Ascard, 1995). Ayrıca alevleme uygulaması çıkış sonrası dönemde mısır, soya fasulyesi ve sorgum gibi ısıya dayanıklı kültür bitkilerinde de başarıyla kullanılabilir (Ulloa ve ark., 2011a; Ulloa ve ark., 2011b; Knezevic ve ark., 2013). Alevleme tekniğinin dezavantajları ise yabancı otlara seçiciliğinin az olması ve uygulamanın tekrarlanma gereksinimi duymasıdır (Ascard, 1995).

1.2. Sıcak su uygulaması

Sıcak su yöntemi, kimyasal mücadele kullanımının uygun olmadığı tarım alanlarında yabancı otların mücadelesinde tercih edilen bir yöntemdir. (Martelloni ve ark., 2021). Sıcak su uygulaması daha çok yol kenarlarındaki yabancı otların mücadelesinde kullanılan popüler bir tekniktir. Bazı tek yıllık yabancı otları kontrol altına almak ve aynı zamanda çok yıllık yabancı otların gelişimin engellemek için kullanılan bu yöntem otlar kurumadan uygulandığı için yangın tehlikesini de ortadan kaldırmaktadır (Hansson ve Ascard, 2002).

Sıcak su uygulanan bitkilerin yaprakları dakikalar içinde renk değiştirir ve sürgünler birkaç gün içinde kurur. Ancak, etkilenen yabancı otların çoğunun kökü yeterince zarar görmediği için yeniden gelişebilir ve bu durum uygulamanın tekrarlanmasını gerekli kılabilir (Kurfess ve Kleisinger, 2000). Yapılan bir çalışmada sıcak su uygulamasının meyve bahçelerinde geniş yapraklı yabancı otların mücadelesinde oldukça etkili olduğu ve bu uygulamanın bir sezonda iki veya üç kez tekrarlanmasının gerektiği bildirilmiştir (Kurfess ve Kleisinger, 2000). Avrupa ülkelerinde başarı oranının daha yüksek olması nedeniyle sıcak su uygulaması, hassas yabancı ot mücadele stratejileri arasında değerlendirilmektedir (Peerzada ve Chauhan, 2018).

Doğrudan yabancı otların üzerine uygulanan sıcak su, değişen hava şartlarında bile kullanılabilir (Astatkie ve ark., 2007). Sıcak su uygulaması yabancı otların elle çekilmesinden daha etkili bir yöntem olmasına rağmen büyük miktarda sıcak suya ihtiyaç duyulması ve uygulamanın birden çok tekrarlanması gereksinimi başlıca eksiklikleri olarak değerlendirilebilir (Sirvydas ve ark., 2004; Astatkie ve ark., 2007).

1.3.Buhar uygulaması

Yabancı otların mücadelesinde kullanılan buhar uygulaması yabancı ot popülasyonunun bastırılmasında umut verici bir yöntem olarak görülmektedir. Sıcak su uygulamasına göre, oldukça yüksek bir ısı iletim katsayısı olan buhar uygulaması yabancı otların mücadelesinde daha etkili bir şekilde kullanma potansiyeline sahiptir (Hansson ve Ascard, 2002). Buhar yoluyla yabancı ot kontrolü, nispeten sert yüzeylerdeki yabancı otları kontrol etmek için daha hızlı, etkili ve sürdürülebilir bir yöntemdir (Rask ve Kristoffersen, 2007). Son yıllarda bitki örtüsünün tamamen ortadan kaldırılmasının gerekli olduğu alanlarda yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Peerzada ve Chauhan, 2018).

Bu yöntemde yabancı otların üzerine yüksek ısıya sahip su ve su buhardan oluşan bir karışım püskürtülür (Wei ve ark., 2010). Bu teknoloji ile yabancı otların toprak üstü aksamaları maruz kalma süresine bağlı olarak yüksek ısı enerjisine sahip buhardan zarar görmekte ve sonuçta bitkilerin ölümü gerçekleşmektedir (Hansson ve Ascard, 2002; Kristoffersen ve ark., 2008). Buhar uygulamasında da toprak altındaki bitki kısımları fazla etkilenmemektedir, bu sebeple uygulamanın belli aralıklarla tekrarlanması gerekir. Tekrarlanan uygulamalar sonucunda depo besin maddeleri tükenen bitkinin büyüme ve gelişmesi gerileyerek ölümüne sebep olabilir (Rifai ve ark., 2002; Wei ve ark., 2010). Ayrıca sıcak buhar uygulaması toprağın belli bir kısmına kadar ısıyı nüfuz ettiği

için toprağın o bölümünde bulunan bazı yabancı ot tohumlarına da zarar verebilmektedir (Hansson ve Ascard, 2002; Kristoffersen ve ark., 2008).

1.4. Sıcak hava uygulaması

Sıcak hava uygulaması, yabancı otlarla doğrudan ve etkili bir mücadele yöntemidir. Sıcak havayla yapılan mücadele sadece vejetatif çoğalma özelliğine sahip dar ve geniş yapraklı yabancı otlar üzerinde etkili bir şekilde kullanılabilir. Sıcak hava uygulamalarında çevre kirliliğine neden olan, çok miktarda enerji ve yakıt tüketen büyük su depolarına ihtiyaç duyan buharlı makinelerinin kullanımına gerek duyulmaması büyük bir avantajdır. Bunun dışında kimyasal, mekanik ve biyolojik yöntemlerden daha düşük maliyetli olduğu hesaplanmıştır (Morselli ve ark., 2022). Rüzgârlı havalarda kullanımının zor olması ve rizumlu yabancı otların mücadelesinde yetersiz kalması ise dezavantajları olarak değerlendirilir.

Sıcak hava, nem ve ısıнын yabancı ot hücreleri arasında daha hızlı aktarılmasına izin vererek hücre yapısını tahrip eder (Bauer ve ark., 2020). Bazı enerji kaynaklarıyla ısıtılan sıcak hava ile ısı enerjisinin yabancı otlara iletilme esasına dayanan bir yöntemdir. Bu uygulamada sıcak hava genellikle LPG/propan gazı kullanılarak elde edilmektedir (Kitiş ve Gürbüz, 2021).

Yoğun ve kapsamlı ekim için mobil buhar sterilizasyonu ile karşılaştırıldığında, sıcak hava işlemiyle yapılan yabancı ot mücadelesi %10-20 arasında enerji tasarrufu sağlayabilmektedir (Ascard ve ark., 2007). Ayrıca yapılan bir çalışmada yabancı otları kontrol etmek için kullanılan sıcak havanın patates, domates ve turp yumrularının verimini artırdığı belirlenmiştir (Runia ve ark., 2007).

2. Robotik Teknikler

Günümüzde yabancı otlarla yapılan mücadele yöntemlerinden biri de teknoloji entegrasyonu içeren robotik sistemlerdir. Teknolojideki

ilerlemeler, otonom robotlarla yabancı ot kontrolünde yeni bir çağın başlamasına katkı sağlamıştır (Gerhards ve ark., 2024). Günümüzde yabancı otların mücadelesinde kullanılan teknikler göz önünde bulundurulduğunda kullanılan robotik sistemler, navigasyon desteği ve azaltılmış iş gücü ile daha az maliyetle kullanıldığı için çevreci bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir (Çolak ve Işık, 2021). Yabancı ot mücadelesinde robotik sistemlerin kullanımındaki amaç, kültür bitkilerine herhangi bir zarar vermeden sıra aralarında bulunan yabancı otlarla mücadele etmektir (Dash ve ark., 2021). İnsan müdahalesi olmadan kullanılan robotik sistemler, mekanik veya kimyasal yöntemlerle yabancı otların kontrol altına alınabilmesine olanak tanır. Renk, şekil, doku gibi yabancı ot ve kültür bitkisi arasındaki farklılıkları gözlemleyen robotik sistemler bilgisayar tabanlı yazılımlar ve elektronik donanımlar sayesinde mekanik veya kimyasal püskürtme yardımıyla yabancı otların mücadelesinde kullanılmaktadır (Guijarro ve ark., 2011). Düşük hızlarda çalışan ve algılarına göre karar verebilen robotikler, alternatif yabancı ot yönetimi stratejilerine olanak sağlayabilir (McCool ve ark., 2018). Robotik sistemlerin bazı otomasyonlardan kaynaklı zorlukları olmasına rağmen diğer klasik yabancı ot mücadele sistemlerine göre maliyetlerinin %20 oranında daha düşük olması ekonomik bir yöntem olmalarını sağlar (Pedersen ve ark., 2006).

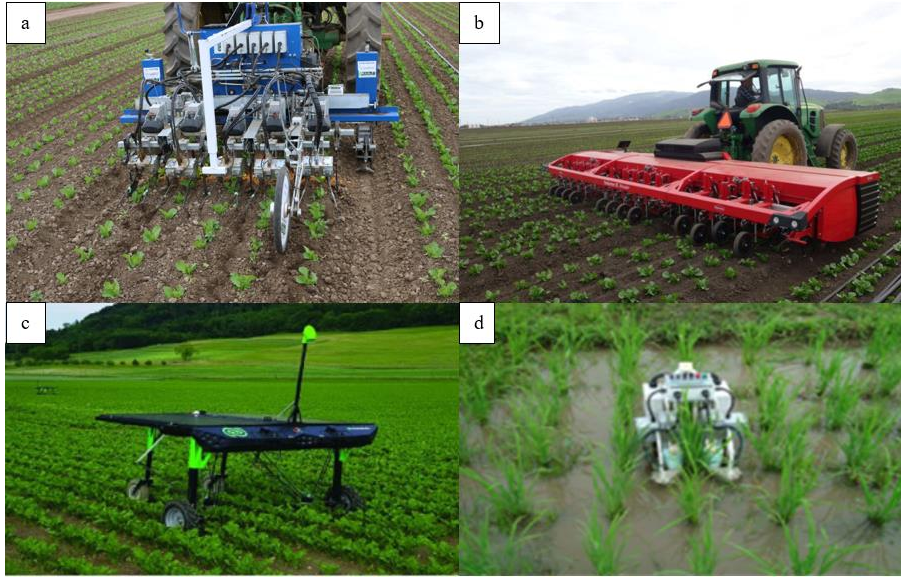
Genel amaçlı otonom bir robotik yabancı ot kontrol sisteminin gerçek zamanlı kinematik küresel konumlandırma sistemi (RTK-GPS), yabancı ot tespiti ve tanımlama özelliği, sıralı yabancı ot kontrol aparatları (mikro sprey, kesme veya ısıl sistemler) ve haritalama (GPS ve makine görüşü ile birlikte) olmak üzere dört temel teknolojiye sahip olması gerekir (Slaughter ve ark., 2008).

Ayrıca bir tarım robotunun üç temel bileşeni olması gerekmektedir (Harrell ve ark., 1988):

- Tarımsal sistemin önemli fiziksel ve biyolojik özelliklerini ölçmek için bir algılama sistemi,
- Tarımsal sistemin nasıl kullanılması gerektiğini belirlemek için sensörlerden gelen bilgileri işleyecek bir sistem,
- Tarımsal sistemi buna göre kullanmak için aktüatörler bulundurmak.

Ticari olarak kullanılan mevcut kamera güdümlü kültivatörler ve birinci nesil robotiklerin iki ana bileşeni vardır; bunlar kültür bitkisinin makine tarafından algılanması ve yabancı otları kontrol eden aktüatörlerdir (Fennimore ve ark., 2016). Ticari robotik makinelerde geleneksel iki boyutlu makine görüşü teknikleri kullanılmaktadır. Bu teknik; görüntü işleme, renk veya kızılötesi tonlu ışık yansıtma oranlarına göre çalışmaktadır (Åstrand ve Baerveldt, 2002; Tillett vd., 2008). Yabancı ot mücadelesinde kullanılan bu aktüatörler; kültivatör, propan brülörü, buhar sağlayıcı ve lazer gibi cihazlardan oluşur (Fennimore ve ark., 2016; Peruzzi ve ark., 2017). Çoğu sistem yabancı ot tespiti için yapay zeka (AI) tabanlı görüntüleme yazılımı kullanılmaktadır (Zhang ve ark., 2022).

Robotik sistemler, tüm yabancı otların mücadelesinde kullanılabilirdiği gibi belirli yabancı türlerine karşı da kullanılabilir (Gerhards ve ark., 2006). 2015 yılından bu yana 40'tan fazla ticari yabancı ot robotu üretildiği bilinmektedir (Gerhards ve ark., 2020; Zhang ve ark., 2022). Yabancı otların kontrolünde kullanılan robotik sistemlerin bazı örnekleri Şekil 1'de verilmiştir. Ticari olarak yabancı ot mücadelesinde kullanılan robotik makineler arasında Ferrari Remoweed, Robovator, Garford sıralı kültivatör ve Steketee IC en bilinenleridir (Peruzzi ve ark., 2017).



Şekil 1. Son yıllarda ticari olarak yabancı ot mücadelesinde kullanılan bazı robotik makineler: a. Robovator kültivatör (Fennimore ve Cutulle, 2019). b. Steketee IC (Peruzzi ve ark., 2017). c. EcoRobotix (Ben-Ari ve ark., 2018). d. Yabancı ot robotu (Sori ve ark., 2018).

Bu robotik yabancı ot makineleri kültivatör bıçakları ile kültür bitkilerinin etrafındaki yabancı otların mücadelesinde kullanılmaktadır. Bu makineler kültür bitkileri ve yabancı otları ayırt edemedikleri zaman ise sıra arasındaki yabancı otlara göre hareket eder. Eğer yabancı ot popülasyonu sıra desenini engelleyecek kadar yoğun veya bitkiler belirli bir büyüklüğe gelmiş ise bu makineler istenilen sonucu vermeyebilir (Fennimore ve Cutulle, 2019).

Yabancı otların mücadelesinde kullanılan robotik sistemlerin başarı oranı yabancı ot türüne, yoğunluğuna, kültür bitkisinin türüne, mücadelenin uygulanacağı dönemde kültür bitkisinin fenolojik durumuna ve çevre şartlarına bağlı olarak değişebilmektedir. Herbisitlerin robotik sistemlerle birlikte kullanılması, mücadele maliyetini düşürdüğü gibi doğaya daha az zarar veren bir yaklaşım olmasıyla da öne çıkmaktadır (Çolak ve Işık, 2021). Yabancı otların

mücadelesinde kullanılan robotik sistemlerde ilerde sağlanacak teknolojik gelişmeler, diğer mücadele yöntemlerine göre insan yükünün azalmasına sebep olacak ve böylece daha ekonomik olmaları sonucunda kullanım etkinlikleri artacaktır (Lati ve ark., 2016; Jha ve ark., 2019).

KAYNAKÇA

- Appleby, A. (2000). Weed Control. In *Agrochemicals*; Muller, F., Ed.; Wiley: New York, NY, USA.
- Ascard, J. (1995). Thermal weed control by flaming: biological and technical aspects. ISSN 0283-0086.
- Ascard, J., Hatcher, PE., Melander, B., Upadhyaya, MK. & Blackshaw, RE. (2007). Thermal weed control. *Non-chemical weed management: principles, concepts and technology*, 155-175.
- Astatkie, T., Rifai, M., Havard, P., Adsett, J., Lacko-Bartosova, M. & Otepka, P. (2007). Effectiveness of hot water, infrared and open flame thermal units for controlling weeds. *Biological Agriculture & Horticulture*, 25, 1-12.
- Åstrand, B. & Baerveldt, AJ. (2002). An agricultural mobile robot with vision-based perception for mechanical weed control. *Autonomous robots*, 13, 21-35.
- Bahadur, S., Verma, SK., Prasad, SK., Madane, A.J., Maurya, SP., Gaurav, VKV. & Sihag, SK. (2015). Eco-friendly weed management for sustainable crop production-A review.
- Bajwa, AA., Mahajan, G. & Chauhan, BS. (2015). Non conventional weed management strategies for modern agriculture. *Weed Science*, 63, 723-747.
- Bauer, MV., Marx, C., Bauer, FV., Flury, DM., Ripken, T. & Streit, B. (2020). Thermal weed control technologies for conservation agriculture - A review. *Weed Research*, 60, 241-250.
- Ben-Ari, M., Mondada, F., Ben-Ari, M. & Mondada, F. (2018). Robots and their applications. *Elements of robotics*, 1-20.
- Bond, W. & Grundy, A. (2001). Non-chemical weed management in organic farming systems. *Weed Research*, 41, 383-405.
- Cederlund, H. & Börjesson, E. (2016). Hot foam for weed control Do alkyl polyglucoside surfactants used as foaming agents affect the mobility of organic contaminants in soil? *Journal of hazardous materials*, 314, 312-317.
- Cisneros, JJ. & Zandstra, BH. (2008). Flame weeding effects on several weed species. *Weed Technology*, 22, 290-295.
- Çolak, Eş. & Işık, D. (2021). Yabancı Otlar ile Mücadelede Güncel Yöntem: Robotikler. *Turkish Journal of Weed Science*, 24, 166-176.

- Çolakoğlu, T. & Kitiş, Y. (2014). Mısır yetiştiriciliğinde farklı dozlarda alev uygulamasının yabancı ot kontrolüne etkisinin belirlenmesi. Türkiye V. Bitki Koruma Kongresi, 3-5.
- Dash, S., Sarkar, S., Tripathy, H. P., Pattanaik, P., & Patnaik, S., (2021). Robotics in weed management: A new paradigm in agriculture. International Conference on Electronic Information Technology and Smart Agriculture. 561-564.
- Dierauer, H.-U. & Stöppler ZH., (1994). 'Unkrautregulierung ohne Chemie: 28 Tabellen. Eds, transl. Ulmer.
- Ellwanger, T., Bingham, S. & Chappell, W. (1973). Physiological effects of ultra-high temperatures on corn. Weed Science, 21, 296-299.
- Fennimore, S. A. & Cutulle, M. (2019). Robotic weeders can improve weed control options for specialty crops. Pest management science, 75, 1767-1774.
- Fennimore, SA., Slaughter, DC., Siemens, MC., Leon, RG. & Saber, MN. (2016). Technology for automation of weed control in specialty crops. Weed Technology, 30, 823-837.
- Fontanelli, M., Martelloni, L., Raffaelli, M., Frascioni, C., Ginanni, M. & Peruzzi, A. (2015). Weed management in autumn fresh market spinach: A nonchemical alternative. Hort Technology, 25(2), 177-184.
- Gerhards, R. & Oebel, H. (2006). Practical experiences with a system for site-specific weed control in arable crops using real-time image analysis and GPS-controlled patch spraying. Weed research, 46(3), 185-193.
- Gerhards, R., Benjamin, K., Jannis, M., Möller, K., Butz, A., Reiser, D. & Hans-Werner, G. (2020). Camera-guided weed hoeing in winter cereals with narrow row distance. Gesunde Pflanzen, 72, 403-411.
- Gerhards, R., Risser, P., Spaeth, M., Saile, M. & Peteinatos, G. (2024). A comparison of seven innovative robotic weeding systems and reference herbicide strategies in sugar beet (*Beta vulgaris* subsp. *vulgaris* L.) and rapeseed (*Brassica napus* L.). Weed Research, 64, 42-53.
- Guijarro, M., Pajares, G., Riomoros, I., Herrera, P., Burgos-Artizzu, X. & Ribeiro, A. (2011). Automatic segmentation of relevant textures in agricultural images. Computers and Electronics in Agriculture, 75, 75-83.

- Gürbüz, R., Koç, E. & Güney, A. (2019). Tarım Dışı Alanlarda Termal Yabancı Ot Kontrolü. 6. Uluslararası Mesleki ve Teknik Bilimler Kongresi.
- Hansson, D. & Ascard, J. (2002). Influence of developmental stage and time of assessment on hot water weed control. *Weed Research*, 42, 307-316.
- Harrell, R., Slaughter, D. & Adsit, P. (1988). Robotics in agriculture. Dorf, RC (Ed.-in-Chief), *International Encyclopedia of Robotics Applications and Automation*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1378-1387.
- Hatcher, P. E. & Melander, B. (2003). Combining physical, cultural and biological methods: prospects for integrated non-chemical weed management strategies. *Weed research*, 43(5), 303-322.
- Jasinskas, A., Steponavičius, D., Šniauka, P. & Zinkevičius, R. (2015). Weed control by chemical and mechanical means. *Weed Biology and Control*. London, UK.
- Jha, K., Doshi, A., Patel, P. & Shah, M. (2019). A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 2, 1-12.
- Kılıç, S. & Kaya, H. (2019). Phytotoxicity from the Plants. *ICONST NST 2019*, 39.
- Kitiş, Y. & Gürbüz, R. (2021). *Yabancı Ot Biliminde Güncel Konular* (Editörler: H Mennan, F Pala).
- Knezevic, S. Z., Stepanovic, S., Datta, A., Nedeljkovic, D. & Tursun, N. (2013). Soybean yield and yield components as influenced by the single and repeated flaming. *Crop protection*, 50, 1-5.
- Kraehmer, H.; Baur, P. *Weed Anatomy*; John Wiley & Sons: Hoboken. (2013). NJ, USA.
- Kristoffersen, P., Rask, A. & Larsen, S. (2008). Non-chemical weed control on traffic islands: a comparison of the efficacy of five weed control techniques. *Weed Research*, 48, 124-130.
- Kup, F. & Saglam, R. (2014). Weed destruction in cotton fields using hot foam method and its comparison to certain other methods. *ARPN J. Agr. Biol. Sci*, 9, 301-7.
- Kurfess, W. & Kleisinger, S. (2000). Effect of hot water on weeds.
- Lati, RN., Siemens, MC., Rachuy, JS. & Fennimore, SA. (2016). Intrarow weed removal in broccoli and transplanted lettuce with an intelligent cultivator. *Weed Technology*, 30, 655-663.

- Levitt, J. (1980). 'Responses of Plants to Environmental Stress, Volume 1: Chilling, Freezing, and High Temperature Stresses. (Eds, transl. Academic Press).
- Martelloni, L., Frasconi, C., Sportelli, M., Fontanelli, M., Raffaelli, M. & Peruzzi, A. (2019). The use of different hot foam doses for weed Control. *Agronomy*, 9, 490.
- Martelloni, L., Frasconi, C., Sportelli, M., Fontanelli, M., Raffaelli, M. & Peruzzi, A. (2021). Hot foam and hot water for weed control: A comparison. *Journal of Agricultural Engineering*, 52, 1-10.
- Matković, A., Božić, D., Filipović, V., Radanović, D., Vrbničanin, S. & Marković, T. (2015). Mulching as a physical weed control method applicable in medicinal plants cultivations. *Lekovite sirovine*, (35), 37-51.
- McCool, C., Beattie, J., Firn, J., Lehnert, C., Kulk, J., Bawden, O., Russell, R. & Perez, T. (2018). Efficacy of mechanical weeding tools: A study into alternative weed management strategies enabled by robotics. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 3, 1184-1190.
- Melander, B., Liebman, M., Davis, A. S., Gallandt, E. R., Bàrberi, P., Moonen, A. C., Rasmussen, J., van der Weide, R. & Vidotto, F. (2017). Non-chemical weed management. *Weed research: expanding horizons*, 245-270.
- Morselli, N., Ottani, F., Puglia, M., Pedrazzi, S., Tartarini, P. & Allesina, G. (2022). Experimental analysis of effective energy dosage in hot air weeding. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 54, 102799.
- Müller-Schärer, H. & Collins, AR. (2020). Integrated weed management. In *Managing Soils and Terrestrial Systems* (pp. 439-447). CRC Press.
- Oerke, E.C. (2005). Crop losses to pests. *J. Agric. Sci.* 144, 31–43.
- Pedersen, SM., Fountas, S., Have, H. & Blackmore, B. (2006). Agricultural robots system analysis and economic feasibility. *Precision agriculture*, 7, 295-308.
- Peerzada, A. M., & Chauhan, B. S. (2018). Thermal weed control: History, mechanisms, and impacts. *Non-chemical weed control* (pp. 9-31). Academic Press.
- Peruzzi, A., Ginanni, M., Fontanelli, M., Raffaelli, M. & Barberi, P. (2007). Innovative strategies for on-farm weed management in organic carrot. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 22, 246-259.

- Peruzzi, A., Martelloni, L., Frasconi, C., Fontanelli, M., Pirchio, M. & Raffaelli, M. (2017). Machines for non-chemical intra-row weed control in narrow and wide-row crops: a review. *Journal of Agricultural Engineering*, 48, 57-70.
- Rask, A. & Kristoffersen, P. (2007). A review of non-chemical weed control on hard surfaces. *Weed Research*, 47, 370-380.
- Rasmussen, J. & Ascard, J. (1995). Weed control in organic farming systems. *Weed control in organic farming systems*. 49-67.
- Rifai, M., Astatkie, T., Lacko-Bartosova, M. & Gadus, J. (2002). Effect of two different thermal units and three types of mulch on weeds in apple orchards. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 1, 331-338.
- Runia, W., Janse, J., Maaswinkel, R. & Molendijk, L. (2007). Effect of Soil Treatment with Hot Air (Cultivit) on Crop Development of Squash. *Applied Plant Research Wageningen UR Report 3250074700*.
- Şahin, H. (2019). A Review on parameters affecting the choice of alternative (non-chemical) weed control methods. *European Journal of Engineering and Technology Research*, 4(12), 16-19.
- Scavo, A. & Mauromicale, G. (2020). Integrated Weed Management in Herbaceous Field Crops. *Agronomy*, 10, 466.
- Sirvydas, A., Lazauskas, P.-A., Vasinauskienė, R. & Kerpauskas, P. (2004). Weed control in onions by steam. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer., 2004, Special issue 19.
- Sivesind, EC., Leblanc, ML., Cloutier, DC., Seguin, P. & Stewart, KA. (2009). Weed response to flame weeding at different developmental stages. *Weed Technology*, 23, 438-443.
- Slaughter, D. C., Giles, D. & Downey, D. (2008). Autonomous robotic weed control systems: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 61, 63-78.
- Sori, H., Inoue, H., Hatta, H. & Ando, Y. (2018). Effect for a paddy weeding robot in wet rice culture. *Journal of Robotics and Mechatronics*, 30, 198-205.
- Sutcliffe, J. (1977). 'Plants and temperature. Eds, transl. Pp:55. London. UK.
- Tillett, N., Hague, T., Grundy, A. & Dedousis, A. P. (2008). Mechanical within-row weed control for transplanted crops using computer vision. *Biosystems Engineering*, 99, 171-178.

- Ulloa, SM., Datta, A., Bruening, C., Neilson, B., Miller, J., Gogos, G. & Knezevic, SZ. (2011a). Maize response to broadcast flaming at different growth stages: Effects on growth, yield and yield components. *European journal of agronomy*, 34, 10-19.
- Ulloa, SM., Datta, A. & Knezevic, SZ. (2011b). Growth stage influenced sorghum response to broadcast flaming: Effects on yield and its components. *Agronomy journal*, 103, 7-12.
- Wei, D., Liping, C., Zhijun, M., Guangwei, W. & Ruirui, Z. (2010). Review of non-chemical weed management for green agriculture. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 3, 52-60.
- Woyessa, D. (2022). Weed control methods used in agriculture. *American Journal of Life Science and Innovation*, 1(1), 19-26.
- Zhang, W., Miao, Z., Li, N., He, C. & Sun, T. (2022). Review of current robotic approaches for precision weed management. *Current robotics reports*, 3, 139-151.
- Zimdahl, RL. & Basinger, NT., (2024). 'Fundamentals of weed science.'(Eds, transl. Elsevier).
- URL 1. 2024. <https://www.weedscience.org/Home.aspx>. Erişim tarihi: 30.06.2024.
- URL 2. 2024. <https://pasture.io/farm-diseases-pests-weeds/control>.
- URL 3. <https://forages.oregonstate.edu>.
- URL 4. 2024. https://en.wikipedia.org/wiki/Weed_control. 10.06.2024.

BÖLÜM 9

KUZEY KIBRIS'TA EKİMDEN HASADA ARPA (*HORDEUM VULGARE L.*) ZARARLILARI

Prof. Dr. Celalettin GÖZÜAÇIK¹
Zir. Yük. Müh. Ayda KONUKSAL²
Zir. Yük. Müh. Nazife ARAP³
Zir. Yük. Müh. Hüseyin KARANFİLOĞLU⁴
Dr. Hakan HEKİMHAN⁵

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13767882>

¹ Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Iğdır, Türkiye, cgozuacik46@gmail.com, Orcid ID: 0000-0002-5643-7663

² Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Lefkoşa, KKTC, aydakonuksal1@gmail.com, Orcid ID: 0000-0002-1250-4447

³ Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Lefkoşa, KKTC, narapadak@hotmail.com, Orcid ID: 0009-0007-4559-9271

⁴ Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Lefkoşa, KKTC, huseyinkaranfiloglu@yahoo.com, Orcid ID: 0000-0003-4804-366x

⁵Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü, İzmir, Türkiye, hakan.hekimhan@tarimorman.gov.tr, Orcid ID: 0000-0002-6531-6490

GİRİŞ

Arpa (*Hordeum vulgare* L.), genel olarak hayvan beslenmesi, malt yapımı ve azda olsa insan gıdası olarak tüketilen, yarı kurak ve yarı nemli alanlarda, çok farklı enlem ve boylamlarda tarımı yapılan bir tahıl cinsidir (Topal ve ark., 2015). Tanesinde yaklaşık %67 karbonhidrat, %10 protein, %2 yağ, %5 selüloz ve kalsiyum, fosfor, potasyum gibi mineraller ile A vitamini, E vitamini ve B vitamini içeriği ile besin değeri oldukça yüksektir (Alkan ve Kandemir 2015). Dünyada, 47.009.175 ha alanda arpa yetiştirilmekte ve 147.404.262 ton tane üretimi yapılmaktadır (FAO, 2017). Kuzey Kıbrıs'ta ise, 84.163 hektar alanda tahıl üretimi yapılmakta ve bu üretim alanının %92,7'sinde arpa yetiştirilmektedir. Üretilen arpanın %89,9'u dane ve %9,1'i ise hasıl (sano ve silaj) olarak değerlendirilmektedir (TMO, 2019).

Kuzey Kıbrıs yarı kurak (semiarid) bir iklime sahip olup, yağışlar oldukça düzensizdir (<400 mm). Bu yüzden üreticiler sulama olanaklarının sınırlı olduğu çok geniş tarım topraklarında arpa yetiştirmeyi tercih etmektedir. Arpa, uzun yıllar aynı tarlaya üst üste ekildiğinden dolayı, birçok zararlı için uygun habitatlar haline dönüşmüştür.

Tüm bunlara yanlışı kimyasal uygulamalarda eklenince doğal denge gittikçe bozularak yararlı organizmaların azalmasına neden olmuştur. Son yıllarda iklimsel dengesizlikler eklenince, birçok potansiyel zararlı etkin hale gelmeye başlamıştır. Arpa bitkisi, birçok arthropod için cazip bir bitki haline dönüşmüş ve bunların önemli besin kaynağı haline gelmiştir. Kuzey Kıbrıs'ta arpa agro-ekosisteminde zararlı olan 27 böcek ve 1 akar türü tespit edilmiş ve bunlar içerisinde; Ekin güvesi, *Syringopais temperatella* (Lederer) (Lepidoptera: Scythrididae), Buğday kesiksineği, *Mayetiola destructor* (Say) (Diptera: Cecidomyiidae), Hububat hortumluböceği, *Pachytychius hordei* (Brulle) (Coleoptera: Curculionidae), Tahıl tortriksi, *Cnephasia pasiuana* (Hübner) (Lepidoptera: Tortricidae) ve Süne, *Eurygaster integriceps*

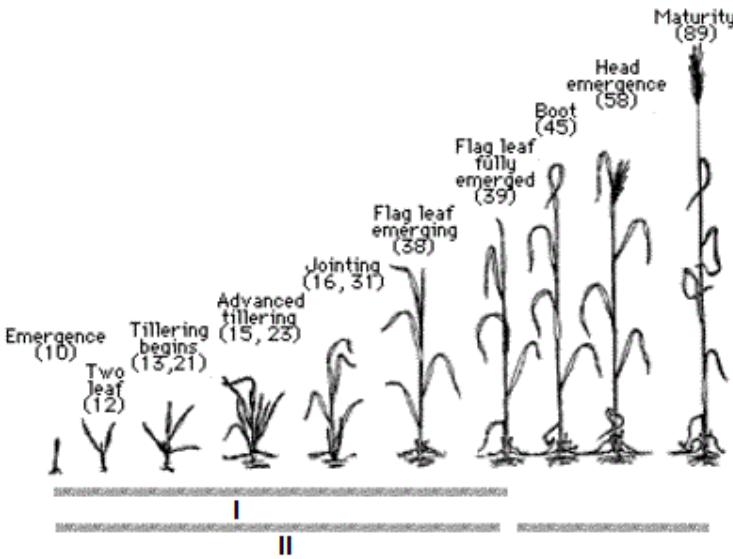
Puton (Hemiptera: Scutelleridae) önemli türler olduğu bildirilmiştir (Güllü ve ark., 2014a). Güllü ve ark. (2014b) tarafından yapılan çalışmada, *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856), *Sitobion avenae* (Fabricius, 1775), *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus, 1758), *Anoecia corni* (Fabricius, 1775) ve *Tetraneura ulmi* (Linnaeus, 1758) (Hemiptera: Aphididae) türleri tespit edilmiştir. Thysanoptera takımından *Aeolothrips intermedius* Bagnall, 1934, *Melanthrips fuscus* (Sultz, 1776), *Melanthrips pallidus* Priesner, 1919, *Rhipidothrips brunneus* Williams, 1913, *Rhipidothrips graciosus* Uzel, 1895, (Aelothripidae) *Haplothrips bolacophilus* Priesner, 1938 (Phlaeothripidae), *Frankliniella tenuicornis* (Uzel, 1895), *Limothrips cerealium* Haliday, 1836, *Sitothrips arabicus* Priesner, 1931, *Stenothrips graminum* Uzel, 1895 ve *Thrips angusticeps* Uzel, 1895 (Thripidae) olmak üzere toplam 11 tür belirlenmiştir (Güllü ve ark., 2021). Bunlarla birlikte, Diptera takımından *Phorbia fumigata* (Meigen) (Konuksal ve ark., 2017), *Delia coarctata* Fallén (Anthomyiidae), *Oscinella pusilla* (Meigen) (Chloropidae) ve *Opomyza florum* (Fabricius) (Opomyzidae) türleri (Gözüaçık ve ark., 2024a) ile Tetranychidae (Prostigmata) familyasında *Bryobia praetiosa* Koch akarı da listeye dahil edilmiştir (Gözüaçık ve ark., 2024b).

Bu zararlılar içerisinde Hesse sineği, *M. destructor* ve Sirividi, *S. temperatella* ana zararlı durumundadır. Ancak, iklimdeki hızlı değişimler diğer bazı zararlıların etkinliğini artırmış ve bu zararlıların da primer zararlı olmasını sağlamıştır.

1. Fenolojik dönemlere göre arpada zararlı türler

Arpa bitkisi tohumdan hasada kadar genel olarak 5 fenolojik döneme ayrılabilir. Bunlar; çimlenme, yaprak gelişimi, kardeşlenme, sapa kalkma, başaklanma ve çiçeklenme ile olgunlaşma dönemlerdir. Zararlılar yönünden bu sıralamayı kendi içerisinde vegetatif ve generatif gelişme dönemleri olarak ikiye ayırmak mümkündür. Bu gelişme dönemlerine göre zararlıların gruplandırılmasında da yarar

görülmektedir. Birçok zararlı bitkinin erken döneminde ekonomik zarar oluştururken, çoğu zararlının da gelişimi vegetatif dönemde başlayıp, generatif dönemde devam etmektedir. Bu yüzden arpa bitkisindeki zararlıları vegetatif dönem zararlıları (I) ve vegetatif - generatif dönem zararlıları (II) olarak iki kategoride değerlendirmenin uygun olacağı öngörülmüştür (Şekil 1).



Şekil 1. Arpanın Gelişme Dönemleri (<https://extension.umn.edu/growing-small-grains/spring-barley-growth-and-development-guide>)

Şimdiye kadar, Kuzey Kıbrıs'ta arpa bitkisiyle ilişkili olan 27 böcek ve 1 akar olmak üzere toplam 28 zararlı türü tespit edilmiştir. Bu zararlıların arpa vejetasyonu süresince bitkide aktif olduğu dönemler (Tablo 1 ve 2) ile bitkilerde oluşturduğu ekonomik zarar durumları değerlendirilmiştir.

1.1. Vegetatif gelişme döneminde etkin olan zararlılar (I)

Arpa bitkisinin vegetatif gelişim döneminde ekonomik zarar oluşturan türler Tablo 1'de gösterilmiştir. Bu türlerden Diptera takımına ait olanlar (*M. destructor*, *P. fumigata*, *D. coarctata*, *O. pusilla*, *O. florum*) (Gözüaçık ve ark., 2024a) bitkinin kök boğaz kısmında kın

içerisinde beslenirken (kök yumrusu (Crown) – 2. nod arası), Lepidoptera (*S. temperatella*) Coleoptera (*O. melanopa*) ve Prostigmata takımına ait türler (*B. praetiosa*) yaprakta beslenmektedirler.

Tablo 1. Vegetatif gelişme döneminde görülen zararlı türler

Takım	Familya	Tür
Diptera	Cecidomyiidae	<i>Mayetiola destructor</i> (Say)
	Anthomyiidae	<i>Phorbia fumigata</i> (Meigen)
		<i>Delia coarctata</i> Fallén
	Chloropidae	<i>Oscinella pusilla</i> (Meigen)
	Opomyzidae	<i>Opomyza florum</i> (Fabricius)
Lepidoptera	Scythridae	<i>Syringopais temperatella</i> Led.
Coleoptera	Chrysomelidae	<i>Oulema melanopa</i> (L.)
Prostigmata	Tetranychidae	<i>Bryobia praetiosa</i> Koch

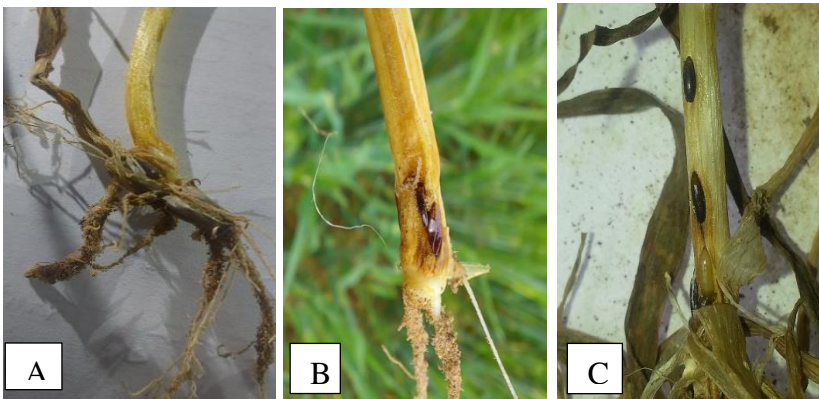
Hesse sineği, *Mayetiola destructor* (Say)



Şekil 2. A) *Mayetiola destructor*'un dişi, B) Yumurtası, C) Larvası (Fotograflar: Yazarlara aittir)

Hesse sineği (Şekil. 2A), arpa ve buğdayın yetiştiği tüm alanlarda ciddi bir zararlı olarak kabul edilmektedir (Lafever ve ark., 1980; Chapin ve ark., 1989; Lhaloui ve ark., 1992; Buntin, 1999; Konuksal ve ark.,

2021). Kuzey Kıbrıs'ta arpa alanlarında 2012-2016 yılları arasında yürütülen çalışmalarda, Hesse sineği ile mücadele yapılmadığı takdirde dekara % 37.1 oranında verim kaybına neden olduğu bildirilmiştir (Konuksal ve ark., 2021). Hesse sineği, ada koşullarında yılda 3 nesil vermektedir. Böcek iki neslini bitkinin temel gelişim dönemlerinde tamamlamakta, 3. nesil larvaları ise sonradan yetişen, ya da geçici çeşitlerde beslenerek hasat sonrası anız saplarında kuru sıcak yaz mevsimini pupa döneminde geçirmektedir. Kuzey Kıbrıs koşullarında yazlayan erginler aralık ayının başlarında görülmeye başlamakta, yumurtalarını (Şekil. 2B) arpanın 1-3 yapraklı olduğu dönemde genelde yaprakların üst yüzeyine bırakmaktadır. 1. nesil larvaları (Şekil. 2C) bitkilerin 1-3 yapraklı döneminden kardeşlenme dönemine kadarki süreçte en fazla zararı vermektedir. Bu dönemde larvalar kök yumru-sapında beslenerek bitkinin sağlıklı gelişmesini ve kardeş oluşumunu engellemekte (Şekil. 3A) ve bitkiyi zayıflatmaktadır. Larvalar beslendiği yerde pupa olmaktadır (Şekil. 3B, C) (2. nesil bitkinin kardeşlenme dönemi sonrası bitkinin temel gelişimini tamamladığı döneme tekabül etmekte ve nispeten zarar 1. nesile göre daha azdır. 3. nesil ise, sonraki yılın popülasyonunu oluşturduğu için önemlidir.

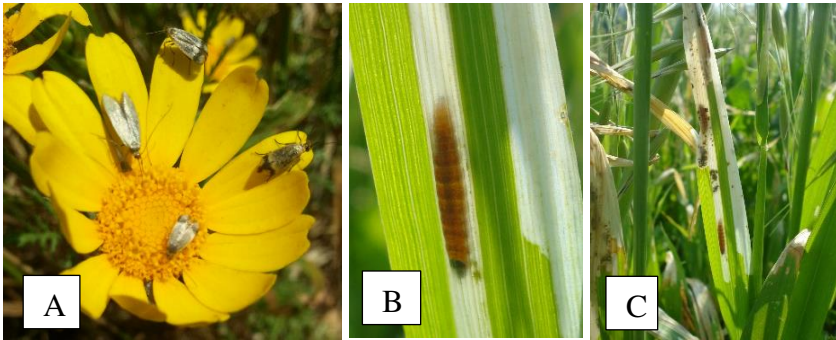


Şekil 3. *Mayetiola destructor*'un A)Kardeşte verdiği zararı, B,C Bitki sapında pupası (Fotograflar: Yazarlara aittir)

Hesse sineği ile kimyasal mücadelede Konuksal ve ark. (2021) yaptıkları tohum ilaç denemesinde zararlının 1. nesline karşı etkili bulmuşlardır. Kimyasal mücadelenin maliyetli olması ve çevreye karşı oluşturabileceği olumsuzluklara karşı, dayanıklı çeşitlerin ekilmesi, saf tohumluk kullanımı, münavebe, ekim ve hasat zamanının ayarlanması gibi kültürel tedbirlerin de böceğin zararını azalttığını bildirmişlerdir. Gözüaçık ve ark. (2024c) Hesse sineğinin doğal düşmanlarından pupa parazitoitleri olan Hymenoptera takımından *Arthrolytus maculipennis* (Walk.), *Meraporus graminicola* Walker (Pteromalidae) ve *Eupelmus microzonus* Folster (Eupelmidae) türlerini tespit etmişler ve bu türlerin korunması ve desteklenmesi gerektiğini bildirmişlerdir. Bu parazitoitler, Hesse sineğinin 2. nesil pupaları üzerinde %10-15 oranlarında parazitlenme gerçekleştirebilmektedir.

Arpa sap ve köklerinde beslenen diğer dipter türlerinden *P. fumigata*, *D. coarctata*, *O. pusilla* ve *O. florum*'un zarar şekli ve biyolojisi kısmen *M. destructor*'a benzemektedir. Ancak popülasyonları *M. destructor*'a göre oldukça (%2-5) düşüktür. Hesse sineğine karşı yapılan tüm mücadele önlemleri bu türler içinde etkili olmaktadır.

Sirividi, *Syringopais temperatella* Led.



Şekil 4. *Syringopais temperatella*'nın A) Erginleri, B) Larvası ve C) Zararı (Fotograflar: Konuksal ve ark., 2017)

Sirividi, üst kanatları altın sarısı renkte pullarla kaplanmış 10-18 mm boyunda güveler olup (Şekil. 4A), Kıbrıs'ta ilk olarak 1923 yılında farkına varıldığını ve önemli bir major zararlı olduğunu (Wilkinson, 1927), mücadelesinde başta kültürel yöntemler olmak üzere birçok yöntemin kullanıldığı ve başarılı olunmadığı bildirilmiştir (Morris, 1950). Sirividi larvaları, hububat yapraklarının iki epidermis arasındaki yeşil dokuda beslenerek fotosentezi engeller (Şekil. 4B, C) ve yaprağın uç kısımlarından itibaren kurummasına sebep olurlar. Bodenheimer (1935), Kıbrıs'ta Sirividi zararının %30 olduğu ve yeter derecede yağış olmadığı durumda zararın %90'a çıktığını belirtmektedir. Kurak geçen kışlarda, fakir topraklarda larva zararının %30-100 arasında olduğu ve İsrail'de ürün kaybının %15-20 olduğu bildirilmektedir (Hüseyini, 1954). Gözüaçık ve ark. (2016)'nın yaptığı çalışmalarda Lefkoşa, Gazimağusa, Girne, Güzelyurt ve İskele ilçelerinde 2011, 2012, 2013, 2014 ve 2015 yıllarında kasım ve aralık aylarındaki ortalama yağış sırasıyla 157.2, 187.4, 69.7, 111.2 ve 61.4 mm olarak ölçülmüş ve bu yağış miktarlarıyla zararlının popülasyonu arasında ilişki kurmuşlar, kasım ve aralık aylarında ortalama yağışın m²'ye 157. 2 mm olduğu dönemlerde *S. temperatella* popülasyonunun arttığını bildirmişlerdir. M²'ye ortalama yağışın 72.5 mm olduğu dönemlerde ise zararlı popülasyonu düşük kaldığını ve kimyasal mücadeleye gerek olmadığını belirtmişlerdir. Ghabeish ve ark. (2023) arpa yetiştiriciliğinde *S. temperatella* ile mücadelede ekim öncesi pullukla 45 cm'ye yakın derinlikte konvansiyonel toprak işlemenin, yüzeysel toprak işlemeye göre daha iyi sonuçlar elde ettiklerini bildirmişlerdir. Sirividi ile kültürel mücadelede aynı tarlalarda arpa ekiminin ardışık olarak yapılmaması, derin toprak işleme, ekim nöbeti ve insektisitlerin zamanında ve dozunda kullanımı özellikle ve doğal düşmanların korunması ve etkinliklerinin artırılması yararlıdır. Bu zararlının Kuzey Kıbrıs'ta larva parazitoitleri olarak Hymenoptera takımı Braconidae familyasından *Bracon stabilis* (Wesmael) (Braconidae) ve *Agathis gracilenta* Tobias (Braconidae) türleri tespit edilmiştir. Ortalama parazitlenme oranları 2012 ve 2013

yıllarında sırasıyla; Güzelyurt'ta %34.8-18.1, İskele'de %31.8-12.2, Girne'de %21.0-8.4, Lefkoşa'da %16.2-5.4 ve Gazimağusa'da %9.5-1.8 oranlarında belirlenmiştir (Gözüaçık ve ark., 2020).

Sirividi ile kimyasal mücadelede yapılması gerekiyorsa, tarlada bulaşmanın %20 ve üzerinde olması gerekir ve yaprak içerisindeki larva boylarının 2-6 mm arasında olduğu dönemde yapılır.

Kış tahıl akarı, *Bryobia praetiosa* Koch

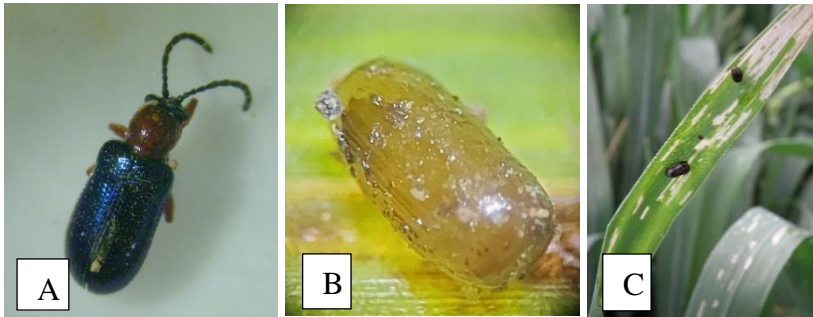


Şekil 5. *Bryobia praetiosa*'nın A) Kışı geçiren ergini ve B) Tarlaya bulaştığı dönem (Fotograflar: Yazarlara aittir)

Tetranychidae (Prostigmata) familyasından *Bryobia praetiosa*, kozmopolit ve polifag bir bitki zararlısı akar olup (Şekil. 5A), yazları sıcak ve kuru, kışları serin ve nemli olan Akdeniz tipi iklim bölgelerinde yaygın olarak dağılım gösterirler (Arthur et al., 2010). *Bryobia* akarları kışlık tahılların zararlılarındadır. Kuzey Kıbrıs'ta bu akarın arpa bitkisinde zararlı olduğu ilk defa Gözüaçık ve ark. (2024c) ortaya konmuştur. *B. praetiosa* aralık-şubat aylarında bitkinin henüz 1-3 yapraklı olduğu dönemlerde (Şekil. 5B) erginler arpa bitkilerinde beslenmeye başlarlar. Yumurtalarını beslendikleri yaprakların kaide kısmının iç yüzeyine bırakırlar ve sıcaklık 9 °C'nin altına düştüğünde, bu dönemi yumurta ve ergin olarak diyapoz halinde atlatırlar. Şubat sonlarında yumurtadan larvaların çıkışı yaptığı ve bitki yapraklarının

sertleştiği sapa kalkma ve başaklanma dönemine kadar yapraklarda beslendikten sonra tarlayı terk ettiği belirlenmiştir. Ergin ve larvaların beslenmesi sonucunda yapraklarda beyazımsı açık renkli lekeler oluşturmakta ve bu yapraklar daha sonra sararak kurumaktadır (Gözüaçık ve ark., 2024c). Önceki çalışmalarımızda dikkat çekmeyen *B. praetiosa*, ilk defa arpa bitkisi zararlısı olarak kaydedilmiştir. Son yıllarda iklimdeki değişmelerin ekosistem üzerindeki etkisi bu zararlı lehine olduğu düşünülmektedir. Bunun yanında, monokültür tarım ve hububat alanlarda üreticilerin Sirividi (*S. temperatella*)’ye karşı yoğun kimyasal uygulamaları akarın predatör (avcı) böcekleri üzerinde olumsuz etkileri de önemli etkenler arasında değerlendirilebilir.

Buğday sülüğü, *Oulema melanopa* (L.)



Şekil 6. *Oulema melanopa* A) Ergini, B) Yumurtası, C) Larvası ve Zararı (Fotograflar: Yazarlara aittir)

Oulema melanopa (Şekil. 6A) larvaları sülüğe benzediği için “buğday sülüğü” olarak isimlendirilen bir yaprak zararlısıdır (Şekil. 6C). Yılda bir nesil verirler. Erginler, sıcaklığın 9–10 °C’de aktiftir. Dişiler yumurtalarını 45–60 gün gibi süre içerisinde yapraklara tek tek bırakırlar (Şekil. 6b). Larvalar 7-15 gün içinde yumurtadan çıkar ve yaprakları kemirerek beslenmeye başlarlar. Larva dönemi 12-20 gün sürer. Kıbrıs koşullarında erginler arpanın kardeşlenme sonrası dönemde tarlada bitki üzerinde görülmeye başlar. Yumurtalarını tek tek yaprağın üst yüzeyine arpanın sapa kalkma öncesi dönemde bırakır. Ergin ve larvaları yaprağın

epidermisini kemirerek beslenir. Asıl zararı larvalar yapar. Çalışmalarda geniş alanlarda yoğunluk oluşturmadığından mücadele yapılmasına gerek yoktur.

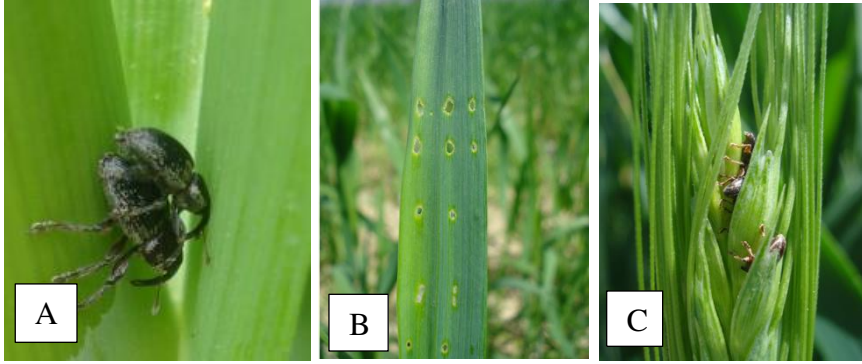
1.2. Vegetatif - generatif gelişme döneminde etkin olan zararlılar (II)

Arpanın vegetatif - generatif gelişme döneminde görülen zararlı türler Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Vegetatif - generatif gelişme döneminde görülen zararlı türler

Takım	Familya	Tür
Coleoptera	Curculionidae	<i>Pachytychius hordei</i> Brulle
Lepidoptera	Tortricidae	<i>Cnephasia pumicana</i> Zeller
	Scutelleridae	<i>Eurygaster integriceps</i> Put.
Hemiptera	Pentatomidae	<i>Aelia acuminata</i> (L.)
		<i>Rhopalosiphum maidis</i> (Fitch)
	Aphididae	<i>Sitobion avenae</i> (Fabricius)
		<i>Rhopalosiphum padi</i> (L.)
		<i>Anoecia corni</i> (Fabricius)
		<i>Tetraneura ulmi</i> (L.)
		<i>Smynthuroides betae</i> Westwood
Thysanoptera	Phlaeothripidae	<i>Haplothrips bolacophilus</i> Priesner
	Aeolothripidae	<i>Aeolothrips intermedius</i> Bagnall
		<i>Melanthrips fuscus</i> (Sultzter, 1776)
		<i>Melanthrips pallidior</i> Priesner
		<i>Rhipidothrips brunneus</i> Williams
	<i>Rhipidothrips gratiosus</i> Uzel	
Thripidae		<i>Frankliniella tenuicornis</i> (Uzel)
		<i>Sitothrips arabicus</i> Priesner
		<i>Stenothrips graminum</i> Uzel
		<i>Thrips angusticeps</i> Uzel
		<i>Limothrips cerealium</i> Haliday

Hububat hortumluböceği, *Pachytychius hordei* Brulle



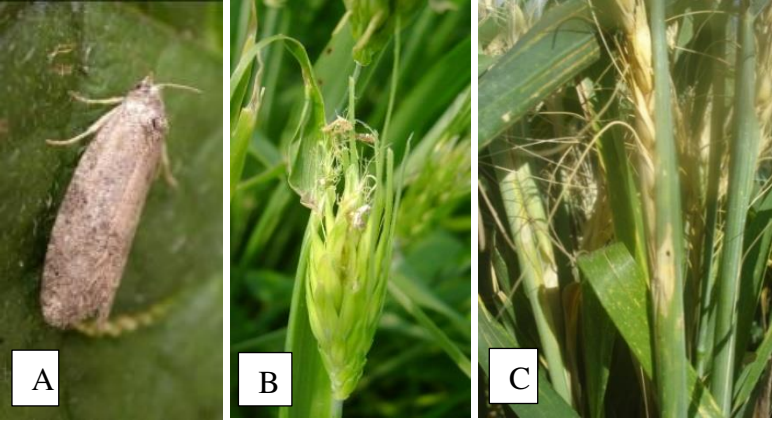
Şekil 7. *Pachytychius hordei* A) Ergini, b) Yapraktaki ve C) başaktaki zararı (Fotograflar: Yazarlara aittir)

Bu türlerden Hububat hortumluböceği erginleri (Şekil. 7A) arpanın kardeşlenme döneminde topraktan çıkmaya başlarlar. Bitkinin yapraklarında beslenirler ve beslenmelerinde yapraklarda bir veya birden fazla yan yana 3'er adet zimba deliği gibi küçük yuvarlak delik açarlar (Şekil. 7B). Başakların çiçeklendiği dönemde beslenerek tane oluşumunu engellerler (Şekil. 7C). Erginler arpanın çiçeklenme döneminde %4.4 oranında zarar oluştururlar (Şimşek, 1993). Erginler beslenirken, bir yandan da çiftleşerek başakların kavuzları arasına yumurta bırakırlar. Yumurtadan çıkan larvalar tanelerin içerisine girerek burada beslenirler ve tane kayıplarına neden olurlar. Şimşek (1991), larvaların ergine oranla daha ağır zarar yaptığı ve arpadaki ürün kaybının buğdaydakinden daha fazla olduğunu bildirmiştir.

Güllü ve ark. (2016), Kuzey Kıbrıs tahıl alanlarında 2012 ve 2013 yıllarında yaptıkları çalışmalar sonucunda, *P. hordei*'nin Lefkoşa, Gazimağusa, Girne, Güzelyurt ve İskele Bölgelerinin hemen hemen tüm tahıl ekili alanlarında değişik populasyon yoğunluklarında yaygın olduğu, en yüksek populasyon yoğunluğunun Girne sıradağlarının güney yamaçlarındaki tahıl alanlarında görüldüğü, Lefkoşa Bölgesi'nin bu köylere yakın ya da komşu köylerinde yüksek olduğu ve bunu Lefkoşa

ve Gazimağusa bölgelerinin izlediğini, diğer bölgelerde *P. hordei* yaygın olmakla birlikte populasyon yoğunluklarının düşük seviyelerde kaldığını bildirmişlerdir. Ayrıca, çalışmalarında; *P. hordei*'nin en yüksek populasyon yoğunluğu Girne Hisarköy'de 2012 ve 2013 yıllarında sırasıyla ortalama 379 ergin birey/100 atrap ve 247 ergin birey/100 atrap ve Ağırdağ köyünde 174 ergin birey /100 atrap ve 132ergin birey/ 100 atrap olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde Lefkoşa Bölgesinde Serhatköy'de *P. hordei*'nin ergin populasyon yoğunlukları 2012 ve 2013 yıllarında sırasıyla ortalama 99 ergin birey/100 atrap ve 111 ergin birey /100 atrap olarak belirlemiştir. *P. hordei*'nin ekonomik zarar eşiği, 5 ergin/m² veya 15 ergin/10 atrap'tır. Zararının topraktan çıkışıyla birlikte arpanın kardeşlenme döneminden itibaren takip edilmesi ve E.Z.E'ni aşan tarlalarda mücadele yapılması yararlı olacaktır.

Tahıl tortrisidi, *Cnephasia pumicana* Zeller



Şekil 8. *Cnephasia pumicana* A) Ergini ve B, C) Başaktaki zararı (Fotografılar: Yazarlara aittir)

Tahıl tortrisidi (Şekil. 8A) Avusturya, Kıbrıs, Almanya, İtalya ve Slovakya hububat alanlarında tespit edilen bir zararlıdır (Anonim, 2023). Konuksal ve ark. (2017), Kuzey Kıbrıs'ın Gazimağusa, Güzelyurt ve Lefkoşa arpa alanlarında 2012-2016 yıllarında *C. pumicana* zararına yer yer rastlanıldığını, larvalarının sapa kalkma, çiçeklenme ve süt olum

başlangıcındaki dönemlerde başak saplarında ve başaklarda zarar yaptığını, özellikle arpalarda, sapın son boğumu üzerindeki kısımlardan açtığı deliklerden içeri girdiği ve yukarıya doğru sapın içini oyarak beslendiğini ve sapın sararıp kurummasına ve akbaşak oluşmasına sebep olduğunu ve başak devresinde ise başaktaki süt ve hamur olum dönemlerinde tanelerle beslendiğini, taneleri kemirerek tükettiğini ve tane sayısını azalttığını tespit etmişlerdir (Şekil. 8B,C). Iordanou (1992) ise, Kıbrıs'ın birçok kısmında bu zararlının tespit edildiğini, bulaşmanın Larnaka'da özellikle rüzgâr-kıranların kurulduğu alanlara yakın tarlalarda daha yüksek olduğunu, zararlının yılda bir nesil verdiğini bildirmiştir. Yapılan sörveylerde *C. pumicana*'ya 2014 yılında (mart sonu nisan başında) Gazimağusa (İnönü)'da bir tarla dışında kimyasal mücadeleyi gerektirecek yoğunluğa ve şimdiye kadar herhangi bir çiftçi şikayetine rastlanılmamıştır. *C. pumicana*'nın bilinçsizce yapılan kimyasal uygulamalarından dolayı doğal dengenin bozulmasıyla birlikte potansiyel olarak zarar oluşturabileceği tahmin edilmektedir. Şimdiye kadar *C. pumicana*'nın baskılayan *Apanteles (Choeras) tiro* (Reinhard), *Habrobracon hebetor* (Say) *Chelonus canescens* Wesmael, *Itopectis maculator* (Fabricius) ve *Trichogramma evanescens* Westwood (Hymenoptera) gibi birçok parazitoit tür kayıtlarına rastlanılırken (Anonim, 2016), Kuzey Kıbrıs arpa alanlarında, larva parazitoiti *Chelonus obscuratus* Herrich-Schäffer (Hymenoptera: Braconidae) türü tespit edilmiştir (Konuksal ve ark., 2017).

Süne, *Eurygaster integriceps* Put.

Süne, ilkbaharda tarlaya geçişinden itibaren arpanın sap, yaprak ve başaklarında beslenerek zararlı olurlar. Genelde, bu zarar göz ardı edilebilecek durumdadır. Başaklarda tane oluşumuyla birlikte hortumları ile taneleri sokup emerek, tanelerin cılız ya da emgi esnasında, tanelere bırakılan proteolitik enzimler ile tanenin protein yapısını etkileyerek, yemlik kalitesini ve maltlık özelliğini olumsuz yönde etkilerler. Sünenin

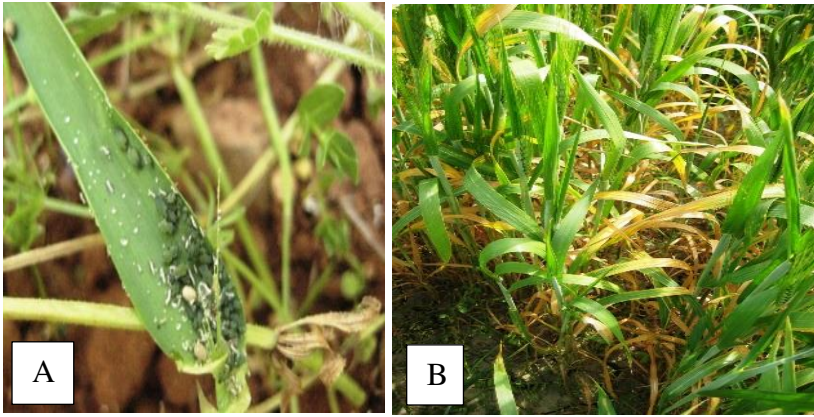
buğdaydaki zararı arpaya oranla daha önemlidir. Arpa çoğunlukla yemlik olarak kullanıldığı için Süne zararı göz ardı edilebilmektedir.



Şekil 9. Süne, *Eurygaster integriceps* Ergini (Fotograflar: Yazarlara aittir)

Ayrıca, buğdayın vegetasyon süresi arpaya göre daha uzun sürmesi, böceğin daha uzun süre beslenebilmesi ve biyolojik gelişimini tamamlayabilmesi yönünden yeterlidir. Ancak, arpanın vegetasyon süresinin daha kısa olması ve tanelerin erken sertleşmesinden dolayı, nimfler gelişimlerini tamamlayamaz. Bu yüzden tarla içerisinde geç gelişen arpalarda ya da gelişimi devam eden buğdaylara geçerek biyolojisini tamamlarlar. Arpa alanlarında süne ile mücadele genellikle ikinci planda yer almıştır. O yüzden sünenin arpadaki zararıyla ilgili çalışmalar neredeyse hiç yoktur. Kuzey Kıbrıs'ta 2014 ve 2015 yıllarında arpa tarlalarında yapılan çalışmalarda sünenin Güzelyurt'ta %0.7, Gazimağusa'da %0.42, İskele'de %0.2, Girne'de %0.1 ve Lefkoşa'da %0.72 oranlarında yoğunluğa sahip olduğu belirlenmiştir. İlâveten, ergin parazitoiti olarak *Heliozeta helluo* Fabr. (Diptera; Tachinidae) ve yumurta parazitoiti olarakta, *Trissolcus semistriatus* Nees ve *T. grandis* (Thomson) (Hymenoptera: Scelionidae) türleri tespit edilmiştir (Konuksal ve ark., 2017). Arpa bitkisinde süneye karşı kimyasal mücadeleden daha çok, doğal düşmanların etkinliğinin artırılmasına katkı sağlayacak polikültür tarıma geçilmesi, tarla çevresinde ağaçlandırılarak doğal habitatların oluşturulması yararlı olacaktır.

Yaprak Bitleri



Şekil 10. A) Afit Kolonisi ve B) Arpa Sarı Cücelik Hastalığı (Fotograflar: Yazarlara aittir)

Kuzey Kıbrıs'ın Lefkoşa, Girne, Güzelyurt, Gazimağusa ve İskele arpa alanlarında *Rhopalosiphum maidis*, *R. padi*, *Sitobion avenae*, *Anoecia corni* ve *Tetraneura ulmi* afit türleri tespit edilmiştir. (Güllü ve ark., 2014). *R. padi* en yaygın tür olarak bulunmuş; *A. corni* ve *T. ulmi* ise Kuzey Kıbrıs için ilk kayıt olarak ortaya konulmuştur. Ayrıca, bu türlerden *R. padi* ve *S. avenae* KKTC tahıl alanlarında arpa sarı cücelik hastalığı ve etmeni olan *Barley Yellow Dwarf Virus* (BYDV) (Şekil. 10B) ve bu virüsünün vektörleri olduğu belirlenmiştir (Fidan ve ark., 2014). Kıbrıs genelde kurak iklime sahiptir. Ancak, bazı yıllar arpanın vegetatif gelişme döneminde meydana gelen ve devam eden nem ve yağışların yüksek, iklimin ılıman olması yaprak bitlerinin popülasyonunu artırmaktadır (Şekil. 10A). Yürütülen proje çalışmalarında 2011 - 2015 yıllarında sırasıyla toplam olarak ocak, şubat ve mart aylarında Girne'ye 231.1, 297.9, 158.7, 76.3 ve 258.2 mm; Lefkoşa'ya 136.6, 155.9, 74.4, 52.4 ve 161.7 mm; Güzelyurt'a 136.6, 155.9, 74.4, 52.4 ve 161.7 mm; Gazimağusa ve İskele'ye 172.2, 228.5, 76, 53.9 ve 179.8 mm yağış düşmüştür. Özellikle, 2011, 2012 ve 2015 yıllarındaki yağış yaprak bitlerinin daha yüksek popülasyon oluşturması için elverişli olmuştur. Arpa sarı cücelik hastalığı ilgili bulgularda bu

yıllarda daha yaygın olduğu belirlenmiştir. Meixue ve ark. (2015) Avusturalya’da yaptıkları çalışmada yüksek yağışlı bölgede üretimi yapılan buğdayın BYDV’nin temel sorun olduğunu bildirmişlerdir. Afiflerin çok sayıda doğal düşmanı mevcuttur. KKTC’de yaprak bitlerinin avcısı olarak; *Coccinella septempunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae), *Episyrphus balteatus* (De Geer 1776), *Eupeodes corollae* (Fabricius), *Melanostoma mellinum* (Linnaeus), *Paragus quadrifasciatus* Meigen, *Sphaerophoria rueppelli* (Wiedemann), *Sphaerophoria scripta* Linnaeus and *Syrirta pipiens* (Linnaeus) *Helophilus trivittatus* (Fabricius), *Meliscaeva auricollis* (Meigen) ve *Eumerus* sp. (Diptera: Syrphidae) türleri (Güllü ve ark., 2018) ve *R. maidis*’in parazitoiti, *Aphidius rhopalosiphi* De Stefani-Perez ve *R. Padi*’nin parazitoiti *A. matricariae* Haliday türleri belirlenmiştir (Kocadal, 2006) .

Yaprak bitleri arpa bitkisinin kardeşlenme döneminden başaklardaki tanelerin henüz yumuşak olduğu döneme kadar popülasyon oluşturabilirler. Popülasyonun artışını belirleyen en önemli faktörlerin iklim ve doğal düşmanlarıdır. Rüzgarsız, ılıman ve yağışın bol olduğu yıllarda sorun oluştururlar. Ancak, etrafı açık ve doğal düşmanın yoğunlaştığı tarlalarda kimyasal kullanılmasına gerek yoktur. Bundan dolayı üreticilerin yaprak biti doğal düşmanlarının ergin, larva ve yumurtalarını tanınması ve iklimi yakından takip etmesi gerekmektedir.

Kökbiti, *Smynturodes betae* Westwood



Şekil 11. Kökte *Smynturodes betae*

(https://www.agrolink.com.br/problemas/pulgao-da-raiz-dofeijoeiro_515.html)

Arpa bitkisinin köklerinde sorun olan diğer bir afit türü de *Smynthuodes betae* (Aphididae: Eriosomatinae: Fordini)'dir (Şekil. 11). Bu afit, antepfıstığı ağaçlarında yaprak kenarlarında kırmızı renkli galler oluşturarak zarar yapmaktadır (Blackman ve Eastop, 2006). Primer konukçuları Akdeniz Bölgesiyle sınırlıdır. Primer konukçularının bulunmadığı yerlerde, sekonder konukçu bitkilerin köklerinde yaşarlar. Bitkilerin köklerinde koloni oluşturarak, bitki özsuyunu emerek bitkinin gelişmesini yavaşlatır ve bunu sonucu olarak tarlada lokal olarak sararmalara ve kurumalara neden olurlar. Populasyonun yoğun olduğu tarlalarda verim düşmektedir (Wool and Burstein, 1991).

Gözüaçık ve ark. (2024b) yaptıkları çalışmalarda, *S. betae*'nin predatörü olarak bilinen *Thaumatomyia notata* (Meigen) (Chloropidae)'nin varlığını ilk arpa alanlarında tespit etmişlerdir. Larvaları bitkilerin kök kısmında toprakta yaşarlar ve kök yaprak bitleriyle (*Pemphigus* spp. ve *Smynthuodes* spp.) beslenirler (Yarkulov, 1972; Nartshuk, 2000). Kuzey Kıbrıs arpa alanlarında bitkinin kardeşlenme döneminden itibaren tarlalarda görülmeye başlar. Özellikle, taban arazilere ekilen, toprak işleminin yetersiz olduğu ve toprak neminin uzun sürdüğü yağışlı yıllarda zararlıyı takip etmek gerekir.

Tripsler

Kuzey Kıbrıs arpa alanlarında Thysanoptera takımından *Haplothrips bolacophilus* (Phlaeothripidae), *Aeolothrips intermedius*, *Melanthrips fuscus*, *Melanthrips pallidior*, *Rhipidothrips brunneus*, *Rhipidothrips gratiosus* (Aeolothripidae), *Frankliniella tenuicornis*, *Sitothrips arabicus*, *Stenothrips graminum*, *Thrips angusticeps*, *Limothrips cerealium* (Thripidae) (Aeolothripidae) türleri tespit edilmiştir. Bu türlerden *A. intermedius*, *F. tenuicornis* ve *R. brunneus* türleri Kıbrıs böcek faunası için ilk kayıttır (Güllü ve ark., 2021).



Şekil 12.Trips ve zararı

(extension://efaidnbmnnnibpcajpcglefindmkaj/https://www.gov.mb.ca/agriculture/crops/seasonal-reports/insect-report-archive/pubs/mb-crop-pest-update-2020-06-24.pdf)

Tripsler, arpa bitkisinin kardeşlenme döneminden olgunlaşma dönemine kadar görmek mümkündür. Ergin ve larvalar törpüleyici-emici ağız yapısına sahip, daha çok taze yaprak ve başakların çiçeklenme dönemindeki beslenmesi önemlidir. Ancak, yapılan gözlemlerde arpa bitkisindeki zararının yeterli popülasyon geliştiremediklerinden dolayı önemsiz olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak; Kuzey Kıbrıs'ta arpanın vegetatif ve generatif dönemlerinde birçok zararlı bulunmaktadır. Bunlar içerisinde Hesse sineği (*M. destructor*) ve Sirividi (*S. temperatella*) öne çıkmaktadır. Her ne kadar üreticiler kimyasal mücadeleyi çözüm olarak görse de, sürdürülebilirliği sağlayabilmek için; erken tahmin ve uyarı sistemlerinin oluşturulması, Hesse sineği ve Sirividi gibi zararlılarla mücadelede kimyasallardan çok dayanıklı çeşitlerin ekilmesi, kültürel tedbirler ile biyoteknik yöntemlerin tercih edilmesi, çiftçilere bu konuda teşvik verilmesi, zararlılarla mücadelede kullanılan kimyasalların dozu, zamanı, uygulama şekli ve ekonomik zarar eşiği (E.Z.E) gibi konular ile doğal düşmanların tanıtılmasında arazide uygulamalı eğitimlerle üreticilerin eğitilmesi sürdürülebilir tarıma önemli katkılar sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Alkan, F.R. & Kandemir N. (2015). Tokat yerel arpa çeşidi içinden seçilen saf hatların bazı gıda, yem ve tarımsal özellikler bakımından varyasyonları. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 24(2): 124-139.
- Anonim, (2016). <http://www.taxapad.com/local.php?newwolp=83909254>. (Erişim: 14.10.2016)
- Anonim, (2023). https://fauna-eu.org/cdm_dataportal/taxon/db5177e9-15b3-45d7-8d8e-69ba95d914c4 (Erişim: 16.12.2023)
- Arthur, A. L., Weeks, A. R., Hill, M. P. & Hoffmann, A. A. (2010). The distribution, abundance and life cycle of the pest mites *Balaustium medicagoense* (Prostigmata: Erythraeidae) and *Bryobia* spp. (Prostigmata: Tetranychidae) in Australia. Australian Journal of Entomology, 50 (1): 22–36.
- Blackman, R. L. & Eastop, V. F. (2006). Aphids on the World's Herbaceous Plants and Shrubs. John Wiley & Sons Ltd., Naturel History Museum, London, 1439s.,
- Bodenheimer, S. F. (1930). Die Schadlings Fauna Palastinas Zeitsch. F. Ang. Ent. 10:292-294.
- Buntin, G. D. (1999). Hessian fly (Diptera: Cecidomyiidae) injury and loss of winter wheat grain yield and quality. Journal of Economic Entomology, 92(5), 1190-1197.
- Chapin, J. W., Grant, J. F., & Sullivan, M. J. (1989). Hessian fly, *Mayetiola destructor* (Say) (Diptera: Cecidomyiidae) infestation of wheat in South Carolina. Journal of Agricultural Entomology, 6(3), 137-146.
- FAO, (2017). Food and Agricultural Organization Statistical Database
- Fidan, H., Güllü M., Gözüaçık C., Hekimhan H., Konuksal A. & Akerzurumlu E. (2014). Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti Tahıl Üretim Alanlarında Arpa Sarı Cücelik Virüsü Barley Yellow Dwarf Virus (BYDV)'nün Tespiti ve Virüs Vektör İlişkilerinin Belirlenmesi. Türkiye V. Bitki Koruma Kongresi, 3-5 Şubat 2014, Antalya, s209.
- Ghabeish, I. H., Al-Zyoud, F. A., Mamkagh, A. M. & Al-Nawaiseh, R. A. (2023). Sustainable control measures towards IPM of the cereal leafminer

- Syringopais temperatella* Led. (Lepidoptera: Scythrididae): Short-term effect of tillage system. *Revista Colombiana de Entomología* 49 (1): e11487
- Gözüaçık C., Güllü M. & Konuksal A. (2016). Determination of some factors affecting population intensity and spread of *Syringopais temperatella* Lederer (Lepidoptera: Scythrididae) in Northern Cyprus. VII International Scientific Agricultural Symposium “Agrosym 2016” Jahorina, October 06-09, 2016, Bosnia and Herzegovina,
- Gözüaçık C., Güllü M., Konuksal A., Değirmenci R. & Akerzurumlu E. (2020). Larval parasitoids and parasitism rates of the cereal leafminer, *Syringopais temperatella* (Lederer, 1855) (Lepidoptera: Scythridae) in cereal fields of Northern Cyprus. *Pakistan Journal of Zoology*, 52(4), 1591-1594.
- Gözüaçık C., Konuksal ., Arap N. & Hekimhan H., (2024a). Harmful fly (Diptera) species on barley (*Hordeum vulgare* L.) in Northern Cyprus. International Congress On Sustainable Agriculture March 01-03, 2024 Iğdır.
- Gözüaçık, C., Konuksal, A. & Diler, H. (2024b). A new barley pest in northern Cyprus: *Bryobia praetiosa* Koch. *Munis Entomology & Zoology*, 19 (2): 978-981.
- Gözüaçık C., Güllü M., Konuksal A. & Hekimhan H. (2014c). Pupal Parasitoids of the Hessian Fly, *Mayetiola destructor* (Say) (Diptera: Cecidomyiidae) in Cereal Fields in Northern Cyprus. *Journal of Agriculture*, 7(1) 23-30.
- Güllü, M., Gözüaçık C., Konuksal A., Hekimhan H. & Fidan H. (2016). The distribution and population density of the cereal weevil, *Pachytychius hordei* (Brullé) (Coleoptera: Curculionidae) in cereal fields in Northern Cyprus. *Journal of Agricultural, Food and Environmental Sciences*, 67, 75-81.
- Güllü, M., Gözüaçık C., Fidan H., Hekimhan H., Konuksal A., Akerzurumlu E. & Değirmenci R. (2014). Kuzey Kıbrıs Tahıl Alanlarında Tespit Edilen Yaprakbiti (Hemiptera: Aphididae) Türleri Yayılışları ve Doğal Düşmanları. Türkiye V. Bitki Koruma Kongresi, 3-5 Şubat 2014, Antalya, s307.
- Güllü, M., Gözüaçık C. & Konuksal A. (2018). Syrphidae (Diptera) species and distribution areas detected in cereal fields of Turkish Republic of Northern Cyprus. International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology, 22-23 November 2018, Ankara, Turkey, 96p.

- Güllü, M., Gözüaçık C. & Konuksal A., (2021). Thrips (Thysanoptera) Species and Distribution Areas in Northern Cyprus Cereal Fields. 3rd International Symposium on Biodiversity Research Erzurum, Turkey, 20 - 22 October 2021. 31p.
- Husseini, S. Y. (1954). The Wheat Leaf miner, *Syringopais temperatella* Led. in Jordan. FAO Plant Protection Bulletin 2 (2): 22 -23.
- Iordanou, N. T. (1992) Geographical distribution, biology and control of the cereal tortricid, *Cnephasia pumicana*, ZELL. (Lepidoptera, Tortricidae) in Cyprus. Technical Bulletin 146. 7 ss. Kon, T.R., Zabik, J.M., Webster, A.J., Leavitt, A.R. (1978). Cereal leaf beetle response to biochemicals from barley and pea seedlings. I. Crude extract, hydrophobic and hydrophilic fractions. *Journal of Chemical Ecology*, 4(5): 511.
- Kocadal, E. (2006). Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'ndeki Aphidoidea (Homoptera) Türleri, Bunların Konukçuları, Parazitoit ve Predatörlerinin Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 82s.
- Konuksal, A., Hekimhan, H., Gözüaçık, C., Güllü, M., Fidan, H., Değirmenci, R. & Karaca, C. (2017). Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti Tahıl Alanlarındaki Zararlı Böcek, Nematod, Hastalık Ve Yabancı Otların Tespiti, Önemli Olanların Biyo Ekolojileri ve Mücadelesi Üzerinde Araştırmalar. Proje Sonuç Raporu. Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti, Tarım ve Doğal Kaynaklar Bakanlığı, Lefkoşa Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, 157 sayfa.
- Konuksal, A., Güllü M., Gözüaçık C., Hekimhan H., Değirmenci R. & Karaca C. (2021). Effects on Yield, Morphological and Some Agronomic Characteristics of Seed Treatment Against Hessian Fly [(*Mayetiola destructor* (Diptera: Cecidomyiidae)] on Barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(Special Issue): 3465-3475.
- Lafever, H. N., Sosa, O., Gallun, R. L., Foster, J. E., & Kuhn, R. C. (1980). Survey monitors Hessian fly populations on Ohio wheat. *Ohio Reporter*, 65, 51-53.
- Lhaloui, S., Buschman, L., El Bouhssini, M., Starks, K., Keith, D., & El Houssaini, K. (1992). Control of *Mayetiola* species (Diptera: Cecidomyiidae) with carbofuran in bread wheat, durum wheat, and barley, with yield loss assessment and its economic analysis. *Al Awamia*, 77, 55-73.

- Large, E.C. (1954). Growth stages in cereals. *Plant Pathol.* 3:128-129.
- Meixue, Z., Larkin, P., Schwinghamer, M., Coutts B., Birchall C., Johnson P., Westmore G. & Davey B. (2015). Studies on barley yellow dwarf virus (BYDV) in wheat. Building Productive, Diverse and Sustainable Landscapes, Proceedings of the 17th ASA Conference, 20 – 24 September 2015, Hobart, Australia
- Morris, H.M. (1950). Control of Cereal Leaf-Miner in Cyprus. *Nature* 165:573-574.
- Nartshuk, E. P. (2000). Periodicity of outbreaks of predatory fly *Thaumatomyia notata* MG. (Diptera, Chloropidae) and its possible reasons. *Entomological Review*, 80:911–918.
- Şimşek, Z. (1991). Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Hububat hortumluböceği [*Pachytychius hordei* (Brulle)]: Coleoptera-Curculionidae]'nin yayılış alanları ve biyo-ekolojisi. Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı Diyarbakır Ziraî Mücadele Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Araştırma Eserleri Serisi: 7,147 s.
- Şimşek, Z. (1993). Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Hububat hortumluböceği [*Pachytychius hordei* (Brulle)]: Coleoptera-Curculionidae]'nin mücadelesine esas biyolojik kriterler ile en uygun mücadele zamanı ve ilaçların belirlenmesi üzerinde araştırmalar. *Bitki Koruma Bülteni*, 33 (3-4),167-183.
- TMO, (2016). Hububat raporu, Toprak Mahsulleri Ofisi Genel Müdürlüğü, 207 s.
- Topal, A., Sade, B., Soylu, S., Akar, T., Mut, Z., Ayrancı, R., Sayım, İ., Özkan, İ., Yılmazkart, M. (2015). Ulusal Hububat Konseyi Arpa-Çavdar-Yulaf-Tritikale Raporu Sayfa 13,28s.
- Wool, D. & Burstein, M. (1991). A galling aphid with extra life-cycle complexity: population ecology and evolutionary considerations. *Researches on Population Ecology* 33: 307-322.
- Wilkinson, D.S. (1927). Some notes on *Syringopais temperatella* Led., in Cyprus. *Bull. ent. Res.* 17 (3): 313-314.
- Yarkulov, F. Ya. (1972). Entomophages of the Sugar Beet Root Aphid,” *Zashchita Rastanii* 6, 29pp.

BÖLÜM 10

BİTKİ BAKTERİYEL HASTALIKLARININ TAKİBİNDE SON GELİŞMELER

Prof. Dr. Arzu GÖRMEZ¹
Arş. Gör. Ezgi ALACA YILDIRIM²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13767887>

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, İzmir, Türkiye, arzu.gomez@deu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-3246-1824

² Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, İzmir, Türkiye, ezgi.alaca@deu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-4467-5603

GİRİŞ

Dünya çapında artan nüfusa paralel olarak üretilen ürün miktarında artış görülse de tarımda artan ürün kayıpları ve maliyetler nedeniyle gıdaya ulaşım azalmakta ve ülke ekonomileri zora girmektedir. Tarımsal alanlarda, yetiştiricilik alanında yapılan yanlışlar ile bitki yaşamını tehdit eden hastalık ve zararlılardan kaynaklı her yıl yaklaşık %20- %40 oranında ürün kayıpları yaşanmaktadır. Bitkilerde önemli kayıplara yol açan etmenlerin başında funguslar, bakteriler, virüsler ve nematodlar gelmektedir. Bakteriler, tek hücreli olup hızlı çoğalma yeteneğine sahip olmasının yanı sıra zengin metabolik çeşitliliği ile de dikkat çekmekte ve çok farklı ortamlara adapte olarak konak çeşitliliği açısından diğer hastalık etmenlerinden ayrılmaktadırlar. Canlı ve cansız ortamlarda kolonize olabilen bakteriler, bitkilerle saprofitik, simbiyotik ya da patojenik etkileşimde bulunmaktadır. Bazı bakteriler baklagillerin köklerinde yaşayarak havadaki serbest azotu bağlamakta, rizosfer bölgesinde yaşayanların bazıları fosfatı ya da diğer mineralleri çözerek bitki kullanımına sunmakta, organik ve inorganik bileşikleri parçalayarak toprağı zenginleştirmekte ve bitki besin alımına katkı sağlamaktadırlar. Aynı zamanda plastik, petrol türevleri vb gibi atık ve kalıntıları bertaraf ederek toprağı iyileştirmekte, bitki hormonlarını teşvik edip/düzenleyerek, üretmiş olduğu antimikrobiyal bileşikler ve rekabet aracılığıyla zararlı patojenleri baskılayarak ve bitkiler de sistemik dayanıklılığı uyararak bitki gelişimine önemli katkılar sunmaktadırlar. Bu denli faydalı etkilerinin yanında birçok bakteri türü de bitkilerde endofitik ve epifitik olarak bulunmakta ve özellikle kültür bitkilerinde ekonomik öneme sahip çeşitli hastalıklara neden olmaktadır. Fitopatojen bakteriler olarak bilinen ve önemli hastalıklara neden olan bu etmenler, bitki yetiştiriciliğinin yapıldığı alanlarda ciddi tehdit oluşturup bitki sağlığını tehlikeye atmakta, tarımsal üretimde ürün kayıpları ve ekonomik zararlara neden olmaktadır. Bu nedenle tarımsal üretimde verimliliği etkileyen bitki bakteriyel

hastalıklarına karşı etkili bitki koruma yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir. Fitopatojen bakterilerin geleneksel, moleküler ve trend yöntemler ile tanılanması, neden olduğu hastalıkların ve hastalık semptomlarının belirlenmesi hastalıkların takibi ve kontrolü açısından büyük önem arz etmektedir. Nitekim güncel teknolojik yöntemlerin fitopatojen bakterilerin tanı, tespit ve mücadelesinde kullanımı ile tarımsal alanlarda kayıplar minimize edilerek tarımsal üretim de geleceğe yönelik strateji oluşturmak mümkün olabilecektir.

1. BİTKİ BAKTERİYEL HASTALIKLARI

Dünya genelinde farklı iklim koşulları altında yetişen/yetiştirilen pek çok bitkide büyük ekonomik kayıplara yol açan fitopatojen bakteriler, bitkisel ürünlerin kalite ve verimini olumsuz yönde etkileyerek önemli hastalıklara neden olmaktadır. Prokaryotik hücre yapısına sahip olan ve ikiye bölünerek kendine has bir üreme yeteneğine sahip olan bakterilerin birçoğu aerobik olmakla beraber bitki patojeni türler arasında fakültatif anaerobların varlığı da bilinmektedir. Bitkilerde enfeksiyonlara neden olan bakteriler çoğunlukla mezofil karakterde, çubuk şekilli ve virulans gücü yüksektir (Agrios, 2005).

Bitki patojeni bakteriler kök, yaprak ve gövde gibi bitkilerin tüm aksamalarını istila edip, bitki iletim demetlerinde, hücre içi ve hücre dışı boşluklarda kolonize olarak hastalıklara neden olmaktadır. Bitkilerde enfeksiyonlara yol açan bakteriler genellikle kitinleşmemiş bitki dokuları, stoma/lentisel gibi doğal açıklıklar veya yaralardan bitkilere giriş yapmaktadırlar (Saygılı vd., 2006). Özellikle doğal açıklıklar bakteriyel patogeneze için en belirgin giriş noktasıdır (Agrios, 2005). Bakteriler, fimbria ve pili gibi hücre dışı yapılarının yanı sıra sahip oldukları çeşitli ekzopolisakkaritleri ile de kolaylıkla konak hücreye tutunmakta ve yaşamını sürdürebilmek adına sahip oldukları hücre dışı enzimler, farklı tip salgı sistemleri (tip I, II, III, IV), toksinler ve bitki savunmasını modüle eden farklı molekülleri ile konak hücreye penetrasyon yaparak başarılı bir şekilde kolonize olmaktadır. Bitki

savunma mekanizmaları bakteriler için engel teşkil etse de bu direncin üstesinden gelebilmek adına bakteriler, çeşitli patojenite ve virulans faktörleri [salgı sistemleri (tip I, II, III, IV), quorum sensing (QS), enzimler, toksinler, hormonlar, büyüme düzenleyicileri, polisakkaritler, proteinazlar, sideroforlar vb] devreye sokarak bitkide gelişimini sürdürmektedir (Molina vd., 2005; Zhou vd., 2013; Francis vd., 2017; Siphathele vd., 2018; Sharma vd., 2023). Virulans özelliği yüksek fitopatojen bakteriler konak hücrede yaşamını sürdürebilmek adına çoğunlukla genlerin ifadesini değiştirerek olumsuz çevresel faktörlere ve konak tepkilerine direnç göstermektedirler. Fitopatojen bakterilerin virulanslığına katkı sağlayan faktörlerin başında salgı sistemleri gelmekte ve söz konusu patojenler bu sistemler aracılığıyla konak hücrelere efektör proteinlerini aktarmaktadırlar. Gram negatif bakterilerde Tip I, Tip II, Tip III, Tip IV ve Tip V olmak üzere beş grup salgı sistemi bilinirken, Gram-pozitif bakterilerde Tip I, Tip II ve Tip V olarak sınıflandırılan salgı sistemleri görülmektedir. Yapılan çalışmalarda *Erwinia*, *Dickeya*, *Pectobacterium*, *Xanthomonas* ve *Ralstonia*'da patogenez ve virulans için Tip II salgı sisteminin gerekli olduğu ortaya konulmuştur (Szczesny vd., 2010; Sharma vd., 2023). Gram negatif fitopatojen bakterilerin çoğu Tip III salgı sistemi aracılığıyla patogenez sürecine katkı sağlamaktadır (Ryan vd., 2011). Önemli bitki patojeni olan *Pseudomonas syringae* ve *Xanthomonas* türlerinde de çoklu salgı sistemlerinin varlığı ortaya konulmuştur (Francis vd., 2017; Siphathele vd., 2018). Aynı zamanda bakteriyel genlerin translokasyonuna katkı sunan Tip IV salgı sistemi de birçok bitki patojeninde tespit edilmiştir. *Agrobacterium tumefaciens*'de konak bitkiye aktarılan ti plazmidi ve virulans genlerin translokasyonunda Tip IV salgı sisteminin etkili olduğu bildirilmiştir (Zechner vd., 2012; Chang vd., 2014). QS mekanizması olarak bilinen ve otoindüktör olarak algılanan çeşitli sinyal molekülleri, bakteriler arasında iletişim kanalı olarak kullanılmakta ve bakteriler tarafından algılanıp biriktirilerek çevresel yanıt oluşturulmaktadır (Barber vd., 1997; Antunes vd., 2010).

QS mekanizması, farklı bakteri hücreleri arasında uyumlu iletişime yol açmakta ve konjugasyon, hareketlilik, patojenite, büyüme inhibisyonu, biyofilm oluşumu, ikincil metabolit/toksin üretimi, salgı sistemleri, CRISPR-Cas, hücre dışı polisakkaritler ve siderofor biyosentezi gibi çeşitli aktivite ve davranışları düzenleyen süreçleri yönetmektedir (Siphathele vd., 2018; Sharma vd., 2023). Bitki patojeni bakterilerin birçoğu (*P. syringae*, *Ralstonia solanacearum*, *Erwinia amylovora* ve *Xanthomonas campestris* gibi) çeşitli ekzopolisakkarit (EPS) polimerleri, selulaz ve pektolitik enzimleri de virulans faktör olarak sentezleyerek konak hücreye tutunup enfeksiyonu başlatabilmektedir. (Denny, 1995; Ryan vd., 2011). Tüm bu mekanizmaların yanı sıra bakteriyel patojenler, konak metabolizmasını etkileyen ve bakteriyel virulansa katkıda bulunarak hastalık şiddetini artıran çeşitli düşük molekül ağırlıklı fitotoksinler üretmektedir (Bender vd., 1999). Özellikle *P. syringae* türleri tarafından üretilen syringomycin, syringotoxin, syringostatin (*Pseudomonas syringae* pv. *syringae*), syringopeptin (*Pseudomonas syringae* pv. *atropfaciens*), tabtoxin (*Pseudomonas syringae* pv. *tabaci*, *coronafaciens*, *garcae*), coronatine (*Pseudomonas syringae* pv. *atropurpurea*, *glycinea*, *maculicola*, *morsprunorum* ve *tomato*), phaseolotoxin (*Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola*, *actinidae*), persicomycin (*Pseudomonas syringae* pv. *persicae*) ve tagetitoxin (*Pseudomonas syringae* pv. *tagetis*) vb. birçok fitotoksinin patojen virulanslığına katkı sağladığı bilinmektedir. Bunun dışında rhizobiotoksin (*Bradyrhizobium japonicum* ve *Bradyrhizobium elkanii*), amylovorin (*E. amylovora*), fervenuline ve toxoflavine (*Pseudomonas glumae*), thaxtomin (*Streptomyces scabies* ve *Streptomyces asidiscabies*) ile albicidin toksinleri (*Xanthomonas albilineans*) de bilinen diğer bakteriyel toksinlerdir (Misaghi 1982, Steyer ve Durbin 1982, Knight vd., 1987, Morgan ve Chatterjee 1988, Mitchell 1991, Ruan vd., 1993, Zhang vd., 1993, Giorgio vd., 1994, Grgurina vd., 1996, Penfold vd., 1996, Zhang vd., 1997, Zhang ve Birch 1997, Doumbou vd., 1998, Barzic 1999, Bender 1999, Huang vd., 2001, Türkkan ve Dolar 2008).

Bakteriler, bitkilerde yaprak ve meyve lekeleri, benekler, çürüklük/yumuşak çürüklük, solgunluk, yanıklık, kabuklanma, sürgünlerde geriye doğru ölümler ve kurumalar, kanser/ur (tümör) benzeri oluşumlar, aşırı büyüme gibi farklı semptomlara neden olmaktadır. Bu semptomlara neden olan bitki patojeni bakterilerin taksonomisi sürekli bir değişim içindedir ve genomik yaklaşımlardaki son gelişmelere dayanarak da sınıflandırma sürekli revize edilmektedir (Sharma vd., 2023). Temel olarak, fitopatojenik bakterilerin çoğu *Pseudomonadota* şubesinde (*Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Erwinia*, *Agrobacterium*, *Pectobacterium*, *Xylella*, *Ralstonia*, *Pantoea*, *Burkholderia*, *Acidovorax*) olmakla birlikte birkaç türü de *Actinomycetota* (*Clavibacter*, *Curtobacterium*, *Streptomyces*) ve *Mycoplasmata* (*Spiroplasma*, *Phytoplasma*) şubelerinde yer almaktadır. Önemli bitki hastalıklarından olan ve pek çok türü bitki patojeni olarak bilinen *Pseudomonadota* şubesi üyelerinden *Pseudomonas* (*Pseudomonadaceae* familyası, *Pseudomonadales* takımı), *Xanthomonas* ve *Xylella* (*Lysobacteraceae* familyası, *Lysobacterales* takımı), *Erwinia* ve *Pantoea* (*Erwiniaceae* familyası, *Enterobacterales* takımı) ile *Pectobacterium* (*Pectobacteriaceae* familyası, *Enterobacterales* takımı) *Gammaproteobacteria* sınıfında yer almaktadır. *P. syringae* patovarları, *R. solanacearum*, *A. tumefaciens*, *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*, *X. campestris* patovarları, *Xanthomonas axonopodis* patovarları, *E. amylovora*, *Xylella fastidiosa*, *Dickeya dadantii*, *Dickeya solani*, *Pectobacterium carotovorum* ve *Pectobacterium atrosepticum* bitkilerde önemli kayıplara neden olan bakteriyel etmenlerdir (Mansfield vd., 2012; Sharma vd., 2023). Özellikle *P. syringae*, tahıllar, tek yıllık ürünler, sebzeler ve odunsu bitkiler de dahil olmak üzere konak çevresi genişliği ile dikkat çeken fitopatojenik bir model organizmadır. Bakteriyel virulans mekanizmaları, bitki-bakteri etkileşimleri, biyofilm oluşumu, patojenlerin konak adaptasyonu, mikrobiyal evrim, ekoloji ve epidemiyoloji çalışmaları için ideal bir patojen olan ve yaklaşık 10'dan

fazla türü ile farklı konakları enfekte eden 60'tan fazla patovarı bulunmaktadır (Green vd., 2010; Arnold ve Preston 2019). *A. tumefaciens*, ekonomik açıdan önemli birçok bitkinin kök bölgesinde urlara (taç gal hastalığına) neden olan, gen transfer yeteneği ile bilinen ve bu nedenle de gen aktarım çalışmalarında sıklıkla tercih edilen patojen bir bakteridir. (Gupta vd., 2015; Sharma ve Gupta 2017; Sharma vd., 2017; Kawaguchi vd., 2019). *Xanthomonas* cinsine ait bakteriler de ekonomik açıdan önemli 400'den fazla bitkide hastalıklara neden olmaktadır (Hayward 1993; Nino Liu vd., 2006). *X. campestris* pv. *campestris*, *X. campestris* pv. *malvacearum*, *X. oryzae* pv. *oryzae*, *X. axonopodis* pv. *manihotis*, *X. axonopodis* pv. *allii* ve *X. axonopodis* pv. *punicae* önemli bitki patojenleridir (Daughtrey vd., 2006; Neves vd., 2014; Wang vd., 2019 a,b). Yumuşak çekirdekli meyve ağaçlarında ateş yanıklığı hastalığına neden olan *E. amylovora*, patates uyuzuna neden olan *S. scabies*, pektinolitik aktivite sergileyen *Dickeya* ve *Pectobacterium* cinsleri, bakteriyel yaprak yanıklığı, yonca cüceliği, kloroz, pierce üzüm ve şeftali phony hastalıklarına neden olan *X. fastidiosa* vb türler de ekonomik olarak önem arz eden bitki patojeni bakterilerdir (Sebahia vd., 2010; Kyrkou vd., 2018; Emeriewen vd., 2019; Sharma vd., 2023).

2. BİTKİ BAKTERİYEL HASTALIKLARININ TANILANMASI

Bitki bakteriyel hastalıklarının tanılanması ve kısa sürede tespit edilmesi, tarımsal üretimde olası kayıpları en aza indirerek hedefe yönelik spesifik bir mücadeleye olanak sağlamaktadır. Tarımsal alanlarda hastalıkların tespitinde, patojenlerin varlığını hedefleyen doğrudan yöntemler veya bitkilerde neden oldukları semptomlara dayalı olarak belirlenen dolaylı yöntemler kullanılmaktadır. Doğrudan yöntemlerde, bakterilerin tanı ve tespiti için konvensiyonel yöntemler (morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal, serolojik ve patojenik özellikler), serolojik tipleme (Aglütinasyon, İmmünofloresan Assay: IFA, Dot

Immunobinding Assay: DIA, Immunoblot Assay: IB/Western Blot, Radioimmunoassay: RIA, Enzyme-Linked Immunosorbent Assay: ELISA), protein profillemesi (Matrix-assisted laser desorption/ionization: MALDI-TOF, Sodium dodecyl-sulfate polyacrylamide gel electrophoresis: SDS-PAGE, Multilocus enzyme electrophoresis: MEE], metabolik profillemesi (Analitik profil indeksi: API, BIOLOG), yağ asidi profillemesi (Yağ asidi metil ester/Fatty acid methyl ester: YAME/FAME-Microbial Identification System: MIS), genetik profillemesi (Random Amplified Polymorphic: RAPD, Restriction fragment length polymorphism: RFLP, Amplified fragment length polymorphism: AFLP, Repetitive element sequence based-PCR: rep-PCR vb), Polimeraz zincir reaksiyonu (PCR) tabanlı tanılama (Spesifik PCR, Multiplex PCR, RT-PCR, Q-PCR, Nested PCR, vb), dizi analizi (16S rDNA Sequencing, Multi-Locus Sequence Typing: MLST, Next Generation Sequencing: NGS), hibridizasyon yöntemleri (Southern Blot, Northern Blot, FISH) ve spektral yöntemler (Surface-enhanced Raman scattering: SERS, Fourier Transform Infrared Spectroscopy: FTIR vb) gibi ileri moleküler yöntemler kullanılmaktadır (Saygılı vd., 2006; Venbrux vd., 2023).

Konvansiyonel yöntemlerin uzun zaman alması, fazla işgücü gerektirmesi, ekonomik olmaması, elde edilen sonuçların tartışmaya açık olması ve uygulamada geniş mekanlara ihtiyaç duyulması gibi dezavantajlarından dolayı tanılama da moleküler yöntemler tercih edilmektedir. Kullanımı nispeten kolay, hızlı, spesifik, hassas, güvenilir, uygun maliyetli, aynı anda çok sayıda tanı yapabilmesi ve toprak/bitki gibi karmaşık matrislerdeki patojenleri kültüre almadan dahi tespit edebilmeleri nedeniyle tanı ve teşhiste moleküler yöntemler yoğun olarak kullanılmaktadır. Hatta kültürasyon temelli kullanılan birçok moleküler yöntem dahi son yıllarda geleneksel yöntem olarak nitelendirilmekte ve özellikle biyosensör/yüksek verimli sekanslama teknikleri gibi hızlı, pratik ve güvenilir daha gelişmiş yöntemlerin

tanılamada kullanımı benimsenmektedir (Venbrux vd., 2023). Oysa kültüvasyonaya dayalı yöntemler genellikle patojenlerin tespiti ve tanılanması için altın standart olarak kabul edilmektedir. Bitkilerde görülen semptomlar dikkate alınarak (dolaylı yöntem) yapılacak bakteriyel izolasyonda spesifik besi ortamları kullanılarak hedef patojenin büyümesine izin verip diğer organizmaların gelişimini engelleyen (veya azaltan) seçici veya yarı seçici besi ortamları kullanılarak hastalık etmenlerinin tanılması yapılmaktadır (Gopinath vd., 2014; Ferone vd., 2020). Ancak seçici besi ortamlarında geliştirilen bu izolatların tanılanması için morfolojik, mikroskobik, biyokimyasal, moleküler veya immünolojik testlerle doğrulanması gerekmektedir (Alvarez 2004; Gopinath vd., 2014; Ferone vd., 2020). Bakterilerin tanılmasında kullanılan morfolojik ve mikroskobik yöntemler oldukça zor olabilir ve genellikle analistin yorumlama becerilerine ve deneyimlerine dayanır (Rajapaksha vd., 2019). Bu nedenle daha objektif yöntemler kullanılarak patojenlerin kimliğini doğrulamak gereklidir. Bu amaçla çeşitli manuel veya ticari kitler ile tam otomotize edilmiş sistemlerin kullanıldığı çeşitli biyokimyasal ve fenotipik testler uygulanmaktadır. Tanıda kullanılan bu yöntemler oldukça hassas ve güvenilir olarak bilinmektedir (Castro-Escarpulli vd., 2015). Hastalık etmenlerinin hem buldukları ortamda hem de saf olarak kültüre edildiği durumlarda tanı ve karakterizasyonlarını yapmak üzere YAME'leri çıkarılarak MIS sistemi ile analiz edilebilmekte ya da belirli substratları kullanma yetisinden faydalanarak metabolik profillerini ortaya çıkarmak adına API ve BiologTM mikropalakalarından istifade edilebilmektedir. Her iki yöntemde tam otomotize edilmiş olup kendine has kütüphaneleri aracılığıyla tanılama yapmaktadır. Mikroorganizmalar arasındaki yağ asidi ve kullanılan substrat bileşimlerinin değişken olması ve her organizma için benzersiz bir lipid ve metabolit parmak izi oluşturulması temel alınarak geliştirilen bu sistemler ile taksonomik olarak tür seviyesinde hatta bazen alt tür/patovar seviyesine kadar organizmalar tanılanmaktadır. Kullanılan bu yöntemler oldukça uygun

maliyetli, hızlı ve güvenilir olmasının yanı sıra organizmaların karakterizasyonu ve çevre ile olan etkileşimlerinin incelenmesi açısından da tercih edilmektedir (API® 2002, Saygılı vd., 2006; Gormez vd., 2013). Bakterileri tanılamada kullanılan tam otomotize sistemlerden biri de son yıllarda yoğun olarak kullanılan ve tanıda alternatif bir yöntem olarak tercih edilen MALDI-TOF'dur. Protein, peptit, oligonükleotit vb. biyomakromoleküllerin analizi ve profillemesini yapan ve genel olarak biyomarker izleme için geliştirilmiş olan MALDI-TOF bakterilerin taksonomik olarak tanılanmasında da güvenilir bir şekilde kullanılmaktadır (Chun vd., 2022).

Bitki patojenlerini tespit etmede veya izole edilen bir bakteriyel etmeni tanılamada, spesifik antikorların kullanılarak geliştirildiği Agglütinasyon, IFA, DIA, IB, RIA ve ELISA gibi farklı serolojik yöntemler bulunmaktadır. Antijenik özellik gösteren bakterilerin bu antijenlere spesifik belirlenen antikorlar ile etkileşimi prensibine dayanan bu yöntemler, ortama ilave edilen enzim, florofor veya nanopartikül (NP) konjugasyonları ile daha da spesifikleştirilerek patojenlerin tanı ve tespitleri yapılabilmektedir (Alvarez 2004; Fang ve Ramasamy 2015). Spesifik antijen-antikor etkileşimleri için antijen(ler)in farklı epitoplara afinitesi olan antikorların karışımından oluşan poliklonal antikorlar veya tek bir epitopa özgüllüğü olan tek tip antikordan oluşan monoklonal antikorlar kullanılmaktadır (Alvarez 2004; Martinelli vd., 2015).

Bakterileri tanılamada kullanılan PCR tabanlı metotlardan rastgele çoğaltılmış polimorfik DNA (RAPD), genom üzerindeki rastgele bölgelerin çoğaltılması ile profillemeye yaparken (Wang vd., 1993), tekrarlayıcı-sekans temelli PCR (rep-PCR), bakteriyel DNA üzerinde bulunan tekrar bölgeleri kullanarak benzersiz barkodlar oluşturmaktadır (Louws vd., 1994; Versalovic vd., 1998). rep-PCR çalışmalarında ERIC (Enterobacterial Repetitive Intergenic Consensus), REP (repetitive extragenic palindromic elements), BOX ve (GTG)₅ gibi farklı primerler

kullanılarak, Pulsed-field gel electrophoresis (PFGE), PCR ribotipleme ve 16S-23S ITS (intergenic spacer) bölgeleri çalışılarak da genetik polimorfizm ortaya çıkarılarak bakteriler tanılabilmektedir. Restriksiyon parça uzunluk polimorfizm (RFLP) yöntemi ile bir ya da birkaç restriksiyon enzimi aracılığıyla kesim yapılarak oluşturulan farklı uzunluktaki genom parçaları incelenmekte (Darrasse vd., 1994; Manceau ve Horvais, 1997), restriksiyon enzimleri ile kesilerek oluşturulan parçalara adaptör takılarak PCR yöntemi ile çoğaltılması sonucunda çoğaltılmış parça uzunluğu polimorfizmi (AFLP) ile de genetik profillemeye çalışmaları yürütülmektedir (Janssen vd., 1996). Genetik profillemeye ve polimorfizm dışında bakteri türüne özel gen bölgelerinin veya virulans/patojenite ilişkili genlerin hedef alınıp primer olarak kullanıldığı PCR tabanlı tanılama sistemleri de bakterilerin tanısında sıklıkla kullanılmaktadır (Palacio-Bielsa vd., 2009). Bu anlamda uzun yıllardır kullanılan geleneksel, multiplex PCR veya gerçek zamanlı PCR çalışmaları ile bakteriler tür/alt tür/patovar seviyesinde dahi tanılabilmektedir. Örneğin domates, patates, soğan ve çeşitli bitkilerde yumuşak çürüklük hastalığına sebep olan *Pectobacterium* türlerinin tanısında *pel* geni (Nassar vd., 1996, Louws vd., 1999), farklı cinslerde *hrp*, *pth*, *vir* ve *syrB* gibi farklı genler tanılama amacıyla kullanılmaktadır. Benzer şekilde *Agrobacterium* türlerinde plazmitlere yönelik, stabil olduğu bilinen genlere yönelik primerler tasarlanarak da PCR çalışmaları yürütülmektedir (Verdier vd., 1998). Son yıllarda bakterileri tanılamada en sık tercih edilen yöntemlerden biri dizi analizi/sekanslama yöntemleridir. Bu amaçla 16S rRNA gen bölgesi evrensel olarak korunmuş olmasının yanı sıra türe özgü dizileri de içerisinde barındırması nedeni ile hem tanılamada hem de canlıların sınıflandırılmasında kullanılmaktadır. Genomik alanda yaşanan hızlı gelişimler ile oldukça farklı gen bölgeleri dizilerek genom sekans verileri üretilmiş ve gen bank veri tabanlarına kaydedilmiştir. Bu veriler kullanılarak bakteri türlerine özgü gen bölgeleri biyoinformatik çalışmalarla belirlenip türe özgü spesifik primerler geliştirilmekte ve

tanılama amaçlı kullanılmaktadır. MLST, evrimsel olarak korunan 7 temel genin (housekeeping gene) hedef olarak belirlenip dizildiği güvenilir bir yöntemdir. Genom çağı olarak nitelendirilen ve moleküler çalışmaların oldukça hızlı geliştiği yakın zamanlarda dizileme amacıyla ilk olarak dideksinükleotid zincir sonlandırma prensibine dayalı olarak geliştirilen Sanger sekanslama, kısa nükleotid dizilerin belirlenmesinde etkili bir şekilde kullanılırken, karmaşık genomlarda başarılı sonuçlar almak amacıyla tam otomatize farklı sekanslama yöntemleri geliştirilmiştir. İkinci nesil dizileme (SGS), üçüncü nesil dizileme (TGS) ve dördüncü nesil dizileme yöntemleri ile çok kısa bir sürede düşük maliyetle yüksek verimlilikte uzun diziler analiz edilmekte ve oldukça fazla organizmanın genomları sekanslanmaktadır. Bakterilerin genomları diğer organizmalara nazaran nispeten küçük olduğundan full genom sekanslama amacıyla yeni nesil dizileme (NGS) yöntemleri sıklıkla tercih edilmektedir. Özellikle konak hücrelerde var olan mikrobiyal floranın belirlenmesi amacıyla metagenomik çalışmalar yürütülmekte ve böylelikle mikroorganizmaların birbirleri ve konak hücre ile olan etkileşimleri incelenmektedir.

Hibridizasyon teknikleri, konak bitkide bulunan hastalık etmenlerinin veya izole edilen bakterilere özgü spesifik genlerin işaretli problemlerle ortaya konulmasını amaçlayan yöntemlerdir. Bu amaçla uygulanan yöntemlerde DNA üzerinden hibridizasyon yapılacaksa Southern Blotlama, RNA üzerinden yapılacaksa Northern Blotlama olarak adlandırılmaktadır. Türe özgü RNA dizilerine uygun modifiye edilmiş oligonükleotid problemler aracılığıyla eşleşen hibrid yapıların görüntülenmesinde floresan boyalar kullanılacaksa da yöntem FISH olarak bilinmektedir. Bakterilerin tanınması ve konak hücre içerisinde belirlenerek görüntülenmesinde tercih edilen bu yöntemlerin başarısı problemlerin doğru bir şekilde tasarlanmasına dayanmaktadır. Nispeten daha yeni bir yöntem olan akış sitometrisi (Flow cytometry; FCM) yöntemi lazer tabanlı bir teknik olup sıvı akışı bulunan elektronik bir

aparatin içinden geçen hücrelerin sayılımına dayanmaktadır. FCM, floresan probalar ile kullanıldığında hızlı ve etkili bir şekilde gözlenerek bakteriler tespit edilmektedir (Chitarra ve Van Den Bulk, 2003).

Bakteri hücrelerinin kimyasal kompozisyonun (atom, iyon veya moleküllerin) belirlenmesinde ve buna bağlı olarak tanı/tespitinde spektral yöntemlerde son zamanlarda yoğun olarak kullanılmaktadır. Spektral yöntemler, bir enerji düzeyinden diğerine geçişleri sırasında absorbe olan/yayılan, farklı dalga boyundaki ışığın kırılımı, saçılımı, absorpsiyonu gibi maddelerin özelliklerine dayalı olarak oluşan ışımaların ölçülmesi ve yorumlanması amacıyla geliştirilmiş yöntemlerdir (Tekintaş ve Hoşgör-Limoncu, 2018). SERS, FTIR, vb spektral yöntemler ile elde edilen kapsamlı bakteriyel parmak izi spektral verileri mevcut spektral pikler ile karşılaştırılıp yorumlanarak bakteriler tanılanmakta ve izolatlar arasındaki farklılıklar belirlenerek karakterize edilmektedir. Son zamanlarda bu verilerin yorumlanmasında yapay zekâ ve makine öğreniminden destek alınarak karmaşık veriler anlamlı hale getirilebilmektedir.

Özetle; kültüre alınan/alınamayan bakterilerin tanılmasında moleküler yöntemler güvenilir olmakla beraber çoğu zaman tek başına bir yöntem yeterli olamamakta ve birden fazla yöntemle tanı sonucu teyit edilmektedir. Günümüzde fenotipik ve genotipik yöntemler ile elde edilen profiller var olan türlerle karşılaştırılarak taksonomik tanılama yapılsa da tanılamada polifazik yaklaşımın benimsenerek veya full genom sekanslama yapılarak bakteri kimliğinin net olarak ortaya konulması gerekmektedir.

3. BAKTERİYEL HASTALIKLARIN TAKİBİ VE KONTROLÜ

Tarımsal alanlarda bakteriler funguslara nazaran daha az verim kaybına sebep olsa da özellikle ekonomik öneme sahip bitkilerde çeşitli hastalıklara neden olan ve karantinaya tabii olan birçok bitki patojeni

bulunmaktadır (Singh vd., 2021). Bu nedenle bitkilerde hastalıklara yol açan bakteriyel etmenlerin takibi ve kontrolü oldukça önem arz etmektedir. Bitki bakteriyel hastalıkları ile mücadele etmek için geçmişten günümüze farklı kontrol ve mücadele yöntemleri benimsenmiş olup bunların kısa bir özeti aşağıda sunulmaktadır.

3.1. Yasal Yöntemler

Dünya üzerinde yetiştirilen bitkilerin tamamında önemli kayıplara yol açan hastalık etmeni ve zararlılardan, ülkeler kendini korumak amacıyla çeşitli karantina önlemleri uygulamaktadırlar (Ebbels ve King 1979). Bu amaçla uluslararası anlaşmalar yapılmakta, çeşitli komisyonlar kurularak hastalık/zararlı riskleri değerlendirilip ülkeler arası giriş ve yayılımı önlemek amacıyla çeşitli tedbirler almaktadırlar. Bitki patojenleriyle uluslararası düzeyde mücadeleye, 1878 yılında 7 ülkenin katılımıyla başlanmış ve ardından çeşitli bitki koruma komisyonları oluşturulmuştur. (EPPO 1951, Smith 1979). Türkiye'nin de dahil olduğu en büyük örgütlerden biri Avrupa ve Akdeniz Bitki Koruma Örgütü (EPPO)'dür. Küresel bitki ticaretinde hastalık/zararlı risklerini doğru yönetme ve bilinçlendirme amacıyla çeşitli kamu ve özel sektörlerin katılımı sağlanarak disiplinler arası yaklaşımlar ve paydaş katılımların entegrasyonu ile sürdürülebilir bitki sağlığı düzenlemeleri gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla da ülke içi ve ülkeler arasında karantina önlemleri uygulanmaktadır.

3.2. Geleneksel Yöntemler

Geçmişten günümüze tarım alanlarında yetiştirilen ürünleri hastalıklardan korumak amacıyla birtakım kültürel ve fiziksel mücadele yöntemleri kullanılmaktadır. Sağlıklı bitki yetiştirmek, hastalık etmenleri için uygun olan koşulları ortadan kaldırmak (bitkilerin vejetasyon dönemini ayarlama, ekim nöbeti vb), hastalık etmeninin yayılmasına engel olmak (sanitasyon, eradikasyon) gibi bitkileri hastalıklardan koruma adına kültürel önlemler uygulanmaktadır. Aynı

zamanda mekanik yöntemler (hastalıklı bitki parçalarının toplanması, yok edilmesi ve bulaşın önlenmesi), termik yöntemler (toprak sterilizasyonu, sıcaklık uygulaması) ve radyasyon gibi fiziksel mücadele yöntemleri ile de hastalıkların kontrolü sağlanmaktadır. Ürün rotasyonu veya nöbetleşe ekim, nadasa bırakma, patojene dayanıklı mahsullerin sıra ile ekilmesi, gübreleme, hastalıklı bitki parçacıklarının fiziksel olarak uzaklaştırılması gibi yöntemler uzun süreden beri hastalıkların önlenmesinde ve yayılmasında tercih edilen yöntemlerdir (Chandrashekara vd., 2012, Abbas 2015, Kannan vd., 2015). Benzer şekilde patojenleri baskılama ve bitki gelişimini teşvik etme adına toprak işleme yöntemleri (toprağı sürme, çapalama) uygulanmakta ve böylelikle toprak yüzeyindeki patojenler toprak altına aktarılırken alttaki besinler toprak yüzeyine taşınarak sağlıklı bitki yetiştirilmektedir (Kannan vd., 2015). Ürünler arasındaki mesafe, mikrobiyal hastalıkların yayılmasını ve kontrolünü önemli ölçüde etkilemekte ve sık ekilmiş bitkiler de patojenlerin yayılışı daha kolay gerçekleştiği için temas veya sulama yoluyla kolayca geçebilen mikrobiyal hastalıklarda mesafenin artırılması ile hastalıkların önüne geçilebilmekte ve verim açısından olumlu sonuçlar alınabilmektedir (Streck vd., 2014; Lindsey vd., 2020). Bunun yanında birden fazla ürünün karışık veya sıralı ekiminin yapıldığı kombine ekimlerde de her ne kadar mekanik tarım sistemleri ile uyumu olmasa da hastalıkların azaltılmasında etkili olduğu bilinmektedir (Bybee- Finley ve Ryan 2018). Çok eski zamanlardan beri kullanılan geleneksel tarım yöntemleri yerini kimyasal yöntemlere bıraksa da günümüzde çevre ve canlı sağlığı için olumsuz etkilerinden dolayı organik tarım uygulamaları ile yeniden bu uygulamaların önü açılmıştır (Lindsey vd., 2020).

3.3. Kimyasal Yöntemler

Tarımsal alanlarda bitki bakteriyel hastalıklarına karşı son yıllarda yoğun bir şekilde bakterisit olarak adlandırılan kimyasal ilaçlar uygulanmaya başlanmıştır. Bitki hastalıklarına karşı etkili olan bu

kimyasallar bitkiye sprey veya toz olarak kullanılabilirdiği gibi ekimden önce tohum ve toprağa karşı da uygulanmakta ve ne yazık ki bu ilaçların yoğun ve bilinçsizce kullanımları neticesinde etkinlikleri azalarak bakterilerde direnç oluşumları gözlenmektedir (Janczura vd., 2006; Veena vd., 2014). Nitekim tarımsal alanlarda yaklaşık 1950'lerden beri domates ve biber bakteriyel leke hastalığına karşı aşırı derecede kullanılan streptomisin antibiyotiğine karşı bakterilerde direnç oluşumları bilinmektedir (Thayer ve Stall 1962). Tarımda kullanılan kimyasal ilaçlar, bakterilerde oluşturdukları direncin yanı sıra yeraltı ve yer üstü suları ile toprak kirliliğine yol açmaları, canlı sağlığını riske atmaları ve dolayısıyla biyoçeşitliliğe olumsuz etkileri nedeniyle negatif bir imaj sergilemektedir. Bu doğrultuda gıdalardaki pestisit miktarlarını belirlemek ve kullanımına sınır koymak amacıyla politikalar oluşturulup birtakım yasaklar getirilmeye başlansa da çok etkili olunamamıştır (Aktar vd., 2009; Mahmood vd., 2016). Bu bağlamda kimyasal yöntemler hala kullanılsa da mevcut dezavantajlarından dolayı mücadelede biyolojik yöntemlerin kullanımı desteklenerek teşvik edilmektedir.

3.4. Biyolojik Yöntemler

Bitki bakteriyel hastalıklarına karşı sürdürülebilir tarım uygulamalarına yardımcı çevre dostu yöntemlerden en dikkat çekici olanı biyolojik yöntemlerdir. Dayanıklı çeşit kullanmak (Seleksiyon, Melezleme, Mutasyon, Genetik mühendisliği çalışmaları ile gen aktarımı), veya biyolojik kontrol ajanları veya onların üretmiş olduğu ürünlerin kullanılarak bitki bakteriyel hastalıklarının kontrolünü hedefleyen bu yöntemler son yıllarda gelişen rekombinant DNA teknolojisi ile farklı boyutlara taşınmış ve bu teknolojiye dayalı olarak birçok hastalığa karşı dayanıklı çeşit geliştirildiği gibi mücadelede etkili bileşiklerin de bol miktarda üretimi sağlanmıştır (Ayaz vd., 2023). Biyolojik kontrol ajanlarının bitki patojenleri ile mücadelede farklı etki mekanizmaları bulunmaktadır. Örneğin rizosfer bölgesinde yaşayan

biyokontrol ajanları antagonistik etki gösterip besin ve yer açısından patojenlerle rekabet ederek gelişimini/metabolik aktivitesini yavaşlattığı gibi, lipopeptit, biyosürfaktan, bakteriyosin, uçucu bileşik, peptit veya enzim gibi farklı antimikrobiyal etkilere sahip bileşikler salgılayarak da patojenleri baskılayabilmektedir. Aynı zamanda biyokontrol ajanları bakterilerin çevreyi algılayarak sayılarının farkına varmalarını sağlayan quorum sensing (QS) mekanizmalarını etkileyip sinyal iletim yollarını bozarak (kitinaz, pektinaz ve laktonaz gibi QS inhibitörleri ile sinyal molekülleri parçalanmakta), bitkilerin savunma mekanizmalarını tetikleyip, bitki büyümesini destekleyerek (toprakta besin su alımını artırıp, salgıladığı hormon ve bitki büyüme düzenleyicileri) de etki göstermektedirler (Zaker vd., 2016; Farzand vd., 2019; Saeki vd., 2020; Zubair vd., 2021). Bu nedenle son yıllarda patojenlere karşı yararlı mikroflora desteklenerek patojenler ile mücadele stratejileri geliştirilmektedir (Babalola 2010; Lindsey vd., 2020). Bitki hastalıklarına karşı endofitler olarak bilinen bazı bakteri ve mantarların kullanıldığı çalışmalar literatürden bilinmektedir. Örneğin *Pseudomonas parafulva* bakterisinin soya fasulyesinde yaprak yanıklığına sebep olan *X. axonopodis* pv. *glycines* ve pirinçte bakteriyel salkım yanıklığına sebep olan *Burkholderia glumae*'ye karşı güçlü antagonizm ve antibakteriyel aktivite sergilediği rapor edilmiştir (Kakembo ve Lee 2019). Yine çeltikte *Rhizobium leguminosarum*, patatestede *Agrobacterium* ve *Alcaligenes*, soya fasulyesinde *Enterobacter agglomerans*, turunçgillerde *Methylobacterium mesophilicum*, havuçta *Pseudomonas putida*, muzda *Azospirillum brasilense* gibi çeşitli hastalıkları kontrol etmek için biyokontrol ajanlarının başarılı bir şekilde kullanımı rapor edilmiştir (Audipudi vd., 2017). Aynı zamanda biyolojik gübreleme (solucan, hayvan gübreleri ve özellikle mikrobiyal gübreler) ile organik atıklar besin değeri yüksek zengin bir komposta dönüştürülmekte ve hem bitki hem de rizosferde yer alan faydalı mikroorganizmaların gelişimi teşvik edilerek hastalıkların kontrolü sağlanıp (özellikle kökler toprak kaynaklı patojenlerden korunarak) bitki

verimi artırılmaktadır (Mathivanan vd., 2015). Yapılan çalışmalarda biyolojik gübrelere kullanım ile *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* ve domates bitkilerinde bakteriyel lekeye neden olan *Xanthomonas vesicatoria*'nın hastalık şiddetinin önemli derecede azaldığı bildirilmiştir (Al-Dahmani vd., 2003; Yogev vd., 2009).

Antimikrobiyal peptitler (AMP'ler), bitkiler, memeliler ve mikroorganizmalar da dahil olmak üzere birçok organizmada ilk savunma hattı olarak işlev gören, kısa amino asit dizileridir. Bitki defensinleri, bitkiler tarafından üretilen en büyük AMP grubudur. Mikroorganizmalar da kendileriyle yakından ilişkili olan diğer patojenik gruplara karşı etkili olan AMP'ler (bakteriler: bakteriyosin, siklopeptit, funguslar: peptaibol gibi) sentezlemektedirler (Montesinos 2007). Antifungal, antibakteriyel özelliklerinin yanı sıra bitki büyüme ve gelişimine yardımcı olan bu AMP'ler, günümüzde hastalıklara hassas bitki türlerine transgenik olarak aktarılmaktadır (Lindsey vd., 2020). Bitkiler veya çeşitli mikroorganizmalar tarafından salgılanan ancak esansiyel olmayan ve çeşitli durumlarda canlılara avantaj sağlayan bileşikler olarak bilinen sekonder metabolitlerden de biyolojik mücadelede istifade edilmektedir (Sekurova vd., 2019; Ayaz vd., 2023). Antibiyotikler, toksinler, ribozomal peptitler, ribozomal olmayan peptitler, poliketitler ve uçucu bileşikler gibi çeşitli sekonder metabolitlerin çeşitli bitki patojenlerine karşı aktiviteye sahip olduğu yaygın olarak bildirilmektedir (Farzand vd., 2019). Bu bileşikleri üreten organizmaların tarımsal alanlarda kullanımı teşvik edilerek, onların üretmiş olduğu bileşiklerin rekombinant olarak üretiminin sağlanıp tarımsal alanlarda kullanımı sağlanarak ya da hastalıklara dirençli transgenik bitkiler geliştirilerek bitki hastalıklarıyla mücadele edilebilmektedir. Kısacası sürdürülebilir hastalık yönetimi için biyolojik mücadele oldukça etkili ve gelişime açık bir mücadele yöntemi olarak değerlendirilmektedir.

4. BITKİ BAKTERİYEL HASTALIKLARININ TAKİBİNDE SON GELİŞMELER

Bitki bakteriyel hastalıklarının tanı, tespit ve kontrolüne yönelik mevcut uygulamalar, küresel iklim değişikliklerine bağlı olarak özellikle son yıllarda artan gıda ihtiyacı ve küresel ölçekte gerçekleştirilen ürün ihracatları ile yeniden gözden geçirilmekte ve teknolojideki gelişmeler ışığında tanı, takip ve kontrole yönelik yeni yöntemler geliştirilmektedir. Özellikle elektronik tespit yöntemleri ile bitki hastalıklarının belirlenip erken uyarı sistemleri ile tarımsal alanlardaki kayıpların önüne geçilmesi ve bu amaçla kısa sürede sonuç alınabilecek ekonomik yöntemlerin kullanılması gerektiği öngörülmektedir (Mohammad-Razdari vd., 2022).

Geçmişte bitki yaprakları veya toprak üstü kısımların yüzey sıcaklıklarını ölçmeye dayalı geliştirilen termografik yöntemler ile bitkilerde biyotik stres, abiyotik stres hatta bitkilerin sahip olduğu uçucu bileşiklerin profillemesi yapılmıştır. Sonrasında kızılötesi termografik kameralar ile fitopatojenlerin sebep olduğu su kayıpları tespit edilmiş, floresan görüntüleme teknikleri ile yapraklardaki klorofil ve fotosentez etkinlikleri incelenerek yapraklarda oluşan fotosentez kayıplarından bitki hastalıkları belirlenebilmiştir (Oerke vd., 2006; Chaerle vd., 2009; Kuckenberg vd., 2009). Hiperspektral görüntüleme yöntemleri ile 350-2500 nm arasında geniş bir spektrumda bitki sağlığı değerlendirilmiş ve geniş alanlarda hastalıkların tespiti yapılabilmektedir (Mahlein 2016). Optik yöntemler dışında gaz kromatografisi yöntemi ile bitkilerin uçucu kimyasal profilleri çıkarılarak çeşitli patojen enfeksiyonlarında bitkilerin sentezlediği ve stres varlığını ifade eden belirteçler üzerinden yorumlamalar gerçekleştirilmiştir (Fang ve Ramasamy, 2015). Ancak söz konusu bu yöntemlerin birçoğu zaman, uzmanlık ve laboratuvar düzeneği gerektiren, sonucunun hemen alınmadığı ve bitkilerin kısmen tahrip edildiği yöntemlerdir. Sahada ise yetiştiricilerin ihtiyacı hızlı, spesifik, bitkiye zarar vermeyen yöntemler ile enfeksiyonun yerinde tanılanabileceği sistemlerdir. Bu amaçla saha içinde enfeksiyonun

izlenmesi amacıyla taşınabilir sensörler geliştirilmiştir (Nezhad, 2014). Ticari olarak geliştirilen bu cihazlardan bazıları bitkilerdeki uçucu bileşiklerden faydalanarak bitki stresini belirlemekte, bazı moleküler tabanlı cihazlar (immünoprinting kitleri, akış sitometrisi cihazları, PCR tabanlı otomatik cihazlar-GeneExpert vb) ise bitki patojenlerini tespit etmede kullanılmaktadır (Boonham vd., 2008, López vd., 2009; Ruiz-Altisent vd., 2010, De Boer ve Lopez 2012). Kolay uygulanabilirlik ve basit yapıda olması nedeniyle mikrosıvı tabanlı cihazlar ve immünokromatografik kartların patojen tespitinde kullanımının önünü açmıştır (Foudeh vd., 2012). Çok sayıda ticari cihaz geliştirilmesine rağmen, birden fazla bitki patojeninin yerinde teşhisi için henüz geliştirilmiş pratik, etkili bir cihaz bulunmamaktadır. Multipleks tespit için günümüzde en umut verici yaklaşım amplikon sekanslama veya metagenomik çalışmalar da yeni nesil sekanslama tekniklerinin kullanımınıdır. Bu teknikler kullanılarak kültüre alınamayan ve henüz tanılanamamış patojenler de dahil olmak üzere konak hücrede bulunan tüm mikroorganizmaların genetik bilgileri elde edilerek tanılanama yapılabilmektedir. Ancak ne yazık ki sekanslama ve metagenom çalışmalarının rutinde kullanımı, yüksek maliyetleri nedeniyle hala sınırlıdır.

Bitki patojenlerinin tanılanması ve bitki hastalıklarının tespitinde teknolojinin gelişimi ve dijitalleşmenin hızlanması ile oldukça farklı moleküler yöntemler kullanılsa da pratik olması açısından optik/spektral tekniklerin kullanımı son dönemlerde yaygınlaşmıştır. Bu teknikler ile bitkilerde enfeksiyona yol açan etmenleri belirleme ve tanılanmanın yanı sıra stres altında ya da hastalıklı bitkilerin sağlıklı bitkilere kıyasla oluşturduğu farklı spektral imzalar ile tanı ve tespit için farklı bir yol oluşturulmuştur (Martinelli vd., 2015; Zubler ve Yoon 2020). Spektral analizler ile tek bir yapraktan yüksek çözünürlüklü görüntülerin alınmasından, tüm tarlaların spektral analizlerini yapan dronların kullanılmasına kadar farklı ölçeklerde uygulamalar gerçekleştirilmiştir

(Singh vd., 2021). Analizde kullanılan sensörlerin boyut, ağırlık ve maliyetlerinin giderek azalması ile sistemler otomotize edilip tarım alanlarının rutin olarak izlenebilmesi mümkün hale gelmiştir (Venbrux vd., 2023). Dronların kullanımı ile geniş ekim alanları izlenip biyotik stres yaşayan bitkilerin “sıcak noktaları” tespit edilebilmiş, hatta çok daha büyük ölçekte, yüksek çözünürlüklü uydu görüntülemeleri ile biyotik stres potansiyeli belirlenebilmiştir (Raza vd., 2020). Non-invaziv olarak nitelendirilen optik veya spektral tekniklerin diğer tekniklere göre en büyük avantajı herhangi bir örnekleme yapılmaksızın tarımsal alanların sürekli izlenip gerçek zamanlı analizler ile biyotik stresi belirlemesidir. Ancak ne yazık ki söz konusu görüntüleme teknikleri semptomlar ortaya çıkmadan bitkideki biyotik stresi kolaylıkla tespit etse de patojenleri tanılamada eksik kalmaktadır. Buna rağmen hastalık etmenlerinin tanılanması için gerekli olan hedefe yönelik örnekleme açısından da avantaj sağlamaktadır (Martinelli vd., 2015; Mahlein 2016; Zubler ve Yoon 2020). Optik sensörler kullanılarak veri toplama nispeten kolaylaşsa da bitkideki biyotik stresin tespitinde elde edilen verilerin yorumlanması oldukça karmaşık olmakta ve bu nedenle makine öğrenimi gibi çeşitli algoritmaların geliştirilmesini gerekli kılmaktadır (Zubler ve Yoon, 2020). Aynı zamanda patojenlerle mücadelede uygun yönetim stratejileri belirlemek üzere patojenlerin pratik olarak tanılanabileceği yöntemlerle söz konusu görüntüleme yöntemlerinin kombine edilmesi gereklidir. Nitekim teknolojiadaki gelişmelere paralel olarak yerinde teşhis imkânı sağlayan ucuz ve kullanımı kolay cihazların piyasaya sürülmesi bitki patojenlerini tanılamasının yanı sıra mücadelede de büyük kolaylıklar sağlayacaktır.

Biyolojik mücadele yöntemlerinin gelişimi ile çeşitli bitki ekstraktları, farklı organizmalar tarafından üretilen AMP’ler çevre dostu uygulamalar olarak tarımsal alanlarda uygulamaya başlanılmış ve sürdürülebilir tarım anlayışını tetiklemiştir. Doğada kolaylıkla çözünebilmeleri ve toksik özellik sergilememeleri nedeniyle, kimyasal

ilaçlara alternatif olarak, tıbbi ve aromatik bitkiler başta olmak üzere birçok bitkiden (sarımsak, okaliptüs, zerdeçal, tütün, zencefil, kekik, ısırgan otu, limon otu vb) elde edilen ekstraktlar, uçucu yağlar ve antimikrobiyal maddeler tarımsal ürünlerde test edilmiş ve etkili sonuçlar alınmıştır (Gurjar vd., 2012). AMP'lerin yanısıra bakteri ve mantarlar ile yapılan antogonizm çalışmaları ve bakteriyofajlar kullanılarak yürütülen faj terapisi çalışmaları da güncel olarak uygulanan etkili yöntemlerdir. Bakteriyofajlar, bakterileri enfekte eden ve konakçı mekanizmalarını kullanarak sadece hücre içi ortamlarda çoğalan ajanlardır. Bakteriyofajların bu özellikleri dikkate alınarak antibiyotik direncine sahip bakteriler ile başarılı bir şekilde sürdürülebilir biyolojik mücadele çalışmaları gerçekleştirilmektedir (Burch vd., 2017). Literatürde *Pseudomonas tolaasii*, *X. campestris* pv. *campestris*, *P. atrosepticum* ve *R. solanacearum* gibi birçok bakteriyel patojene karşı bakteriyofajların etkinliğinin test edildiği ve başarılı sonuçlar alındığı bildirilmektedir (Kim vd., 2011; Bae vd., 2012; Carstens vd., 2019; Holtappels vd., 2022). Ancak ne yazık ki UV ışığı ile inaktivasyon, değişen bakteri duyarlılığı ve fajlara karşı oluşan hızlı direnç gelişimi bakteriyofajlar ile yapılacak biyolojik mücadele çalışmalarını sınırlandırmaktadır. Günümüzde biyolojik mücadele çalışmalarında kullanılan bir diğer hedef mekanizma da bakterilerin iletişiminden sorumlu QS mekanizmalarına müdahale edilmesidir. Bitkiler veya diğer organizmalarda yer alan quorum baskılayıcı moleküllerin (enzim veya inhibitörlerin) kullanımı ile bitki patojeni bakteriler ile mücadele edilmekte ve etkili sonuçlar alınmaktadır (Dong vd., 2001; Barbey vd., 2013). Biyolojik mücadelede kullanılan AMP, bitki ekstraktı ve esansiyel yağların yanı sıra etkili kimyasal bileşiklerin NP haline getirilerek çok daha düşük dozlarda kullanımına yönelik mücadele çalışmaları da son zamanlarda dikkat çekmektedir. Nanoteknoloji alanındaki gelişmeler doğrultusunda etken maddeler ile oluşturulan NP'ler boyutları 1-100 nm arasında değişen ve hücre içerisine girebilen parçacıklardır. Bitki patojenlerine karşı çeşitli NP'lerin antibakteriyel

özelliklerinin ortaya konulduğu çalışmalarda demir oksit NP'lerin: *Xanthomonas* sp. ve *Proteus vulgaris*'e (Prabhu vd., 2015), çinko oksit NP'lerin: *X. axonopodis* pv. *citri*'ye (Poovizhi ve Krishnaveni 2015), bakır NP'lerin ise: *P.syringae* pv. *tabaci*'ye (Jiang vd., 2022) karşı test edildiği ve antimikrobiyal özellikleri açısından etkili olduğu rapor edilmektedir. Genel olarak bulgular, NP'lerin non-toksik ve umut verici antimikrobiyal etkileri ile tarımsal alanlarda bakteriyel hastalıkların yönetimi için önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Gen editleme teknolojisinde çığır açan CRISPR/Cas9 sistemi de bakterilerdeki patojenik genlerin belirlenerek hedeflenmesi veya bitkilerde defensin/PR proteinleri ile savunma sistemlerinin desteklenmesi amacıyla kullanılmaktadır. CRISPR/Cas9, çeşitli hastalıklara dirençli çeşitlerin geliştirilmesi için bitki ıslahında devrim yaratan büyüleyici bir araç olduğunu kanıtlamıştır (Ghimire 2017). Konak hücrede yaşayan ve özellikle kültür bitkilerinde önemli kayıplara yol açan bakteriyel patojenlerin kullanılan kimyasal/antibiyotiklere karşı geliştirdikleri direnç nedeniyle kontrolü ve mücadelesi oldukça güçtür. Bu nedenle, bakteriyel virulans hedef alınıp, genom düzenleme yöntemlerinden yararlanarak konak bitkilerdeki genler manipüle edilmekte ve böylelikle hastalık yönetimi için yenilikçi yöntemler geliştirilmektedir.

5. GELECEK PERSPEKTİFLERİ VE ÖNERİLER

Geçtiğimiz yüzyıl boyunca dünya nüfusu katlanarak artmış ve 2024 yılı itibarıyla 8,1 milyara ulaşmıştır. Mevcut nüfus artış oranlarıyla, 2050 yılında dünya nüfusunun 10 milyara yaklaşacağı ve bunun da kaynak tüketiminde büyük bir artışa yol açacağı öngörülmektedir. Bu bağlamda, dünya nüfusunu beslemek için bitkisel üretimin 2050 yılına kadar %60-100 oranında artması gerekmekte ve bu durumun da tarımsal alanların efektif kullanımı ve tarımsal ürünlerin hastalık ve zararlılardan korunması ile mümkün olabileceği düşünülmektedir (Hunter vd., 2017; Struik ve Kuyper 2017; Emadi ve Rahmanian 2020). Bu nedenle, mevcut

nüfus artış hızı, sürdürülebilir gıda üretimi için yeni stratejiler geliştirmeyi gerekli kılmaktadır (Poveda 2021).

Ülke nüfusumuzun 2050 yılında 105 milyon civarında olacağı tahmin edilmekte ve su, tarım arazisi, ekilebilir toprak, biyoçeşitlilik, yenilenemeyen enerji, insan emeği ve gübre gibi doğal kaynakların sınırlı olduğu ülkemizde ve dünyada artan gıda artışına paralel olarak talepleri azaltmak amacıyla stratejik tarımsal uygulamaların hayata geçirilmesi gerekmektedir. Doğru ve güçlü bitki koruma uygulamaları sayesinde gıda talebi ile arzı arasındaki açığı kapatmak mümkün olabildiği gibi özellikle bitki hastalıklarının kontrolü ile de nitelik ve nicelik olarak sağlıklı ürün yetiştirilebilmektedir. Bu nedenle patojen takibinde kullanılacak güvenilir, ekonomik, kullanımı kolay, portatif cihazların ve yeni teknolojilerin geliştirilmesi oldukça önemlidir. Makine öğrenimi ve yapay zekanın da moleküler yöntemlere entegre edilmesi ile tarımsal alanlarda ciddi kayıplara yol açan bitki patojenlerinin pratik, kullanıcı dostu, güvenilir ve hızlı bir şekilde tanınması mümkün olabilecektir. Bu anlamda teknolojik gelişmelerin zirai alanlara taşınması neticesinde bitki patojenlerinin tanınması, hastalıklara karşı etkili stratejik koruma ve mücadele yöntemlerinin geliştirilmesi ve böylelikle tarımsal alanlarda ürün kayıplarının minimize edilerek az alandan fazla miktarda ürün alımının sağlanabileceği öngörülmektedir. Islah çalışmaları ile biyokontrol yöntemlerinin kombine edilerek biyoçeşitlilik kayıplarının önüne geçilebilmesi ve sürdürülebilir modern tarım uygulamaları ile de sağlıklı bitki yetiştirilmesi mümkündür. Gelecekte etkili biyolojik kontrol stratejileri oluşturma adına biyoteknolojik olarak “omik” tekniklerle potansiyel biyokontrol ajanlarının geliştirilip özellikle mikrobiyom temelli çözümlerin dahil edileceği hedefe yönelik entegre yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKÇA

- Abbas, A. (2015) Chapter 2 in: Management of Plant Diseases, The University of Agriculture, Peshawar, Pakistan p. 9-11.
- Agrios, G.N. (2005). Plant pathology. Academic Press, London
- Aktar, W., Sengupta, D., & Chowdhury, A. (2009). Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdisciplinary toxicology*, 2(1): 1-12.
- Al-Dahmani, J.H., Abbasi, P.A., Miller, S.A. & Hoitink, H.A.J. (2003). Suppression of bacterial spot of tomato with foliar sprays of compost extracts under greenhouse and field conditions. *Plant Dis.*, 87: 913–919.
- Alvarez, A.M. (2004). Integrated approaches for detection of plant pathogenic bacteria and diagnosis of bacterial diseases. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 42(1): 339–366. doi: 10.1146/annurev.phyto.42.040803.140329
- Antunes, L.C.M., Ferreira, R.B., Buckner, M.M., & Finlay, B.B. (2010). Quorum sensing in bacterial virulence. *Microbiology*, 156: 2271-2282.
- API®. (2022). BioMérieux. Available at: <https://www.biomerieux-usa.com/clinical/api>.
- Arnold, D.L., & Preston, G.M. (2019). *Pseudomonas syringae*: enterprising epiphyte and stealthy parasite. *Microbiology*, 165: 251-253.
- Audipudi, A.V., Chakicherla, B.V. & Subhash, J.B. (2017). Bacterial endophytes as biofertilizers and biocontrol agents for sustainable agriculture. *Biotech. Sustainability*, 223-247.
- Ayaz, M., Li, C.H., Ali, Q., Zhao, W., Chi, Y.K., Shafiq, M., ... & Huang, W.K. (2023). Bacterial and fungal biocontrol agents for plant disease protection: Journey from lab to field, current status, challenges, and global perspectives. *Molecules*, 28(18): 6735.
- Babalola, O.O. (2010). Beneficial Bacteria of Agricultural Importance. *Biotechnol. Lett.* 32: 1559-1570.
- Bae, J.Y., Wu, J., Lee, H.J., Jo, E.J., Murugaiyan, S., Chung, E., & Lee, S.W. (2012). Biocontrol potential of a lytic bacteriophage PE204 against bacterial wilt of tomato. *J Microbiol Biotechnol.*, 22(12): 1613–1620.
- Barber, C., Tang, J., Feng, J., Pan, M., Wilson, T., Slater, H., Dow, J., Williams, P., & Daniels, M. (1997). A novel regulatory system required for pathogenicity of

- Xanthomonas campestris* is mediated a small diffusible signal molecule. *Mol Microbiol*, 24(3): 555–566.
- Barbey, C., Crepin, A., Bergeau, D., Ouchiha, A., Mijouin, L., Taupin, L., Orange, N., Feuilloy, M., Dufour, A., & Burini, J.F. (2013). In planta biocontrol of *Pectobacterium atrosepticum* by *Rhodococcus erythropolis* involves silencing of pathogen communication by the rhodococcal gamma-lactone catabolic pathway. *PLoS ONE*, 8, e66642.
- Barzic, M.R. (1999). Persicomycin production by strains of *Pseudomonas syringae* pv. *persicae*. *Physiol and Mol Plant Pathology*, 55: 243-250.
- Bender, C.L. (1999). Chlorosis-inducing phytotoxins produced by *P. syringae*. *European Journal of Plant Pathology*, 105: 1-12.
- Bender, C.L., Alarcon-Chaidez, F., & Gross, D.C. (1999). *Pseudomonas syringae* phytotoxins: mode of action, regulation and biosynthesis by peptide and polyketide synthetases. *Microbiol Mol Biol Rev*, 63: 266–292.
- Boonham, N., Glover, R., Tomlinson, J. & Mumford, R. (2008). Exploiting generic platform technologies for the detection and identification of plant pathogens. In: Collinge, D.B., Munk, L., Cooke, B.M. (eds) *Sustainable disease management in a European context*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8780-6_15.
- Burch, T.R., Sadowsky, M.J., & LaPara, T.M. (2017). Effect of diferent treatment technologies on the fate of antibiotic resistance genes and class 1 integrons when residual municipal waste water solids are applied to soil. *Environ Sci Technol.*, 51: 14225-14232.
- Bybee-Finley, K.A., & Ryan, M.R. (2018). Advancing intercropping research and practices in industrialized agricultural landscapes. *Agriculture*, 8(6): 80.
- Carstens, A.B., Djurhuus, A.M., Kot, W., & Hansen, L.H. (2019). A novel six-phage cocktail reduces *Pectobacterium atrosepticum* soft rot infection in potato tubers under simulated storage conditions. *FEMS Microbiol Lett.*, 366(9): fnz101. <https://doi.org/10.1093/femsle/fnz101>.
- Castro-Escarpulli, G., Alonso-Aguilar, N. M., Rivera, G., Bocanegra-Garcia, V., Guo, X., Jurez-Enriquez, S. R., & (2015). Identification and typing methods for the

- study of bacterial infections: A brief review and mycobacterial as case of study. Arch. Clin. Microbiol. 7 (1): 1–10.
- Chaerle, L., Lenk, S., Leinonen, I., Jones, H.G., Van Der Straeten, D., & Buschmann, C. (2009). Multi-sensor plant imaging: Towards the development of a stress-catalogue. Biotechnol J., 4(8):1152-67. doi: 10.1002/biot.200800242.
- Chandrashekara, K.N., Manivannan, S., Chandrashekara, C. & Chakravarthi, M. (2012). Biological control of plant diseases. Eco-friendly Innovative Approaches in Plant Disease Management, 48: 147-166.
- Chang, J.H., Desveaux, D., & Creason, A.L. (2014). The ABCs and 123s of bacterial secretion systems in plant pathogenesis. Annu Rev Phytopathol, 52: 317-345.
- Chitarra, L.G., & Van Den Bulk, R.W. (2003). The application of flow cytometry and fluorescent probe technology for detection and assessment of viability of plant pathogenic bacteria. European Journal of Plant Pathology, 109: 407-417.
- Chun, S., Gopal, J., & Muthu, M. (2022). Comprehensive synopsis of the maldi tof Ms accomplishments in rapid diagnosis of microbial. Plant Dis Pathog, 4100342. doi: 10.2139/ssrn.4100342
- Cuppels, D.A. & Ainsworth, T. (1995). Molecular and physiological characterization of *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* and *P. syringae* pv. *maculicola* strains that produce the phytotoxin coronatine. App and Environ Microb, 61(10): 3530–3536.
- Darrasse A., Priou S., Kotoujansky A., & Bertheau Y. (1994). PCR and Restriction-Fragment-Lenght Polymorphism of a *pel* gene as a tool to identify *Erwinia carotovora* in relation to potato diseases. Applied and Environmental Microbiology 60: 1437-43.
- Daughtrey, M.L., Wick, R.L., & Peterson, J.L. (2006). Compendium of flowering potted plants. The American Phytopathological Society, St. Paul, p. 55–56.
- De Boer, S.H., & López, M.M. (2012). New grower-friendly methods for plant pathogen monitoring. Annual Review of Phytopathology, 50(1): 197-218.
- Denny, T.P. (1995). Involvement of bacterial polysaccharides in plant pathogenesis. Annu Rev Phytopathol 33: 173-197.

- Dong, Y.H., Wang, L.H., Xu, J.L., Zhang, H.B., Zhang, X.F., & Zhang, L.H. (2001). Quenching quorum-sensing-dependent bacterial infection by an N-acyl homoserine lactonase. *Nature*, 411: 813–817.
- Doumbou, C.L., Akimov V., & Beaulieu, C. (1998). Selection and characterization of microorganisms utilizing thaxtomin A, a phytotoxin produced by *Streptomyces scabies*. *Applied and Environmental Microbiology*, 64 (11): 4313-4316.
- Ebbels, D.L., & King, J.E. (Eds.). (1979). *Plant health. The scientific basis for administrative control of plant diseases and pests.* p. 322.
- Emadi, M.H., & Rahmanian, M. (2020). Commentary on challenges to taking a food systems approach within the food and agriculture organization (FAO). *Food Security and Land Use Change under Conditions of Climatic Variability: A Multidimensional Perspective*, 19-31.
- Emeriewen, O.F., Wöhner, T., Flachowsky, H., & Peil, A. (2019). *Malus* hosts–*Erwinia amylovora* interactions: strain pathogenicity and resistance mechanisms. *Front Plant Sci.* 10: 551.
- EPPO (1951) Convention for the establishment of the European and Mediterranean Plant Protection Organization of 18 April 1951. EPPO, Paris.
- Fang, Y., & Ramasamy, R. P. (2015). Current and prospective methods for plant disease detection. *Biosensors*, 5(3), 537-561.
- Farzand, A., Moosa, A., Zubair, M., Khan, A. R., Massawe, V. C., Tahir, H.A.S., ... & Gao, X. (2019). Suppression of *Sclerotinia sclerotiorum* by the induction of systemic resistance and regulation of antioxidant pathways in tomato using fengycin produced by *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42. *Biomolecules*, 9(10): 613.
- Ferone, M., Gowen, A., Fanning, S., & Scannell, A.G.M. (2020). Microbial detection and identification methods: Bench top assays to omics approaches. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 19 (6): 3106–3129.
- Foudeh, A.M., Didar, T.F., Veres, T., & Tabrizian, M. (2012). Microfluidic designs and techniques using lab-on-a-chip devices for pathogen detection for point-of-care diagnostics. *Lab on a Chip*, 12(18): 3249-3266.
- Francis, V.I., Stevenson, E.C., & Porter, S.L. (2017). Two-component systems required for virulence in *Pseudomonas aeruginosa*. *FEMS Microbiol Lett*, 364: 1-22.

- Ghimire, B. (2017). Use of Crispr/Cas9 for development of disease resistant cultivars in plant breeding. *Int J Appl Sci Biotechnol.*, 5: 403-409.
- Giorgio, D.D., Camoni, L., & Ballio, A. (1994). Toxins of *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* affect H⁺-transport across the plasma membrane of maize. *Physiologia Plantarum*, 91: 741-746.
- Gopinath, S.C.B., Tang, T.-H., Chen, Y., Citartan, M., & LakshmiPriya, T. (2014). Bacterial detection: From microscope to smartphone. *Biosensors Bioelectron.*, 60: 332-342. doi: 10.1016/j.bios.2014.04.014
- Gormez, A., Sahin, F., Gulluce, M., & Aslan, I. (2013). Identification and Characterization of *Pseudomonas syringae* Isolated from Apricot Trees in the Erzurum Province of Turkey and Evaluation of Cultivar Reaction. *Journal of Plant Pathology*, 95(3): 525–532.
- Green, S., Studholme, D.J., Laue, B.J., Dorati, F., Lovell, H., Arnold, D., Cottrell, J.E., Bridgett, S., Blaxter, M., Huitema, E, Thwaites, R., Sharp, P.M., Jackson, R.W., & Kamoun, S. (2010). Comparative genome analysis provides insights into the evolution and adaptation of *Pseudomonas syringae* pv. *aesculi* on *Aesculus hippocastanum*. *PLoS ONE*, 5: e10224 .
- Grgurina, I., Gross, D.C., Iacobellis, N.S., Lavermicocca, P., Takemoto, J.Y., & Benincasa, M. (1996). Phytotoxin production by *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*: Syringopeptin production by syr mutants defective in biosynthesis or secretion of syringomycin. *FEMS Microbiology Letters*, 138: 35-39.
- Gupta, A.K., Sharma, A., Singh, D., Chandel, S., Sharma, R.C., Mahajan, R., & Gupta, A. (2015). Occurrence of crown gall caused by *Agrobacterium tumefaciens* on rose. *Indian Phytopathol*, 68: 229–230.
- Gurjar, M.S., Ali, S., Akhtar, M., & Singh, K.S. (2012). Efficacy of plant extracts in plant disease management. *Agric. Sci.*, 3: 425-433. <https://doi.org/10.4236/as.2012.33050>.
- Hayward, A.C. (1993). The hosts of *Xanthomonas*. In: Swings JC, Civerolo EL (eds) *Xanthomonas*. Chapman and Hall, London, p. 1–119.
- Holtappels, D., Fortuna, K.J., Moons, L., Broeckaert, N., Bäcker, L.E., Venneman, S., Rombouts, S., Lippens, L., Baeyen, S., Pollet, S., Noben, P., Oechslin, F., Vallino, M., Aertsen, A., Maes, M., Vaerenbergh, J. V., Lavigne, R., &

- Wagemans, J. (2022). The potential of bacteriophages to control *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* at different stages of disease development. *Microbial Biotechnology*, 15(6): 1762-1782.
- Huang, G., Zhang, L., & Birch, R.G. (2001). A multifunctional polyketide-peptide synthetase essential for albicidin biosynthesis in *Xanthomonas albilineans*. *Microbiology*, 147: 631-642.
- Hunter, M.C., Smith, R.G., Schipanski, M.E., Atwood, L.W., & Mortensen, D.A. (2017). Agriculture in 2050: recalibrating targets for sustainable intensification. *Bioscience*, 67(4): 386-391.
- Janczura, B., Ahern, J., & Cassells, A. C. (2006). Integrating biological strategies to control disease in intensive agriculture. *General and Applied Plant Physiology*. In: Acad. M. Popov Institute of Plant Physiology, Bulgarian Academy of Sciences. Sofia, Bulgaria.
- Janssen P., Coopman R, Huys G., Swings J., Blecker M., Vos P., Zabeau M., & Kersters K. (1996). Evaluation of the DNA fingerprinting method AFLP as a new tool in bacterial taxonomy. *Microbiology*, 142: 1881-93.
- Jiang, L., Xiang, S., Lv, X. & (2022). Biosynthesized silver nanoparticles inhibit *Pseudomonas syringae* pv. *tabaci* by directly destroying bacteria and inducing plant resistance in *Nicotiana benthamiana*. *Phytopathol Res.*, 4: 43. <https://doi.org/10.1186/s42483-022-00148-8>
- Kakembo, D., & Lee, Y.H. (2019). Analysis of Traits for Biocontrol Performance of *Pseudomonas parafulva* JBCS1880 against Bacterial Pustule in Soybean Plants. *Biol. Control*, 134: 72-81.
- Kannan, V.R., Nivas, D., Kannan, V.R. & Bastas, K.K. (2015). 5 Agro-Traditional Practices of Plant Pathogens Control. In *Sustainable Approaches to Controlling Plant Pathogenic Bacteria*, Taylor & Francis: Oxfordshire, UK. p 111.
- Kawaguchi, A., Nita, M., Ishii, T., Watanabe, M., & Noutoshi, Y. (2019). Biological control agent *Rhizobium* (= *Agrobacterium*) *vitis* strain ARK-1 suppresses expression of the essential and non-essential *vir* genes of tumorigenic *R. vitis*. *BMC Res Notes*, 12: 1–6.

- Kim, M.H., Park, S.W., & Kim, Y.K. (2011). Bacteriophages of *Pseudomonas tolaasii* for the biological control of brown blotch disease. *J Appl Biol Chem.*, 54: 99-104. <https://doi.org/10.3839/jksabc.2011.014>.
- Knight, T.J., Durbins, R.D. & Langston-Unkefer, P.J. (1987). Self-protection of *Pseudomonas syringae* pv. *tabaci* from its toxin, tabtoxinine- β -lactam. *Journal Bacteriology*, 169(5): 1954-1959.
- Kuckenbergl, J., Tartachnyk, I. & Noga, G. (2009). Temporal and spatial changes of chlorophyll fluorescence as a basis for early and precise detection of leaf rust and powdery mildew infections in wheat leaves. *Precision Agric.*, 10:34-44.
- Kyrkou, I., Pusa, T., Ellegaard, J.L., Sagot, M.F., & Hansen, L.H. (2018). Pierce's disease of grapevines: a review of control strategies and an outline of an epidemiological model. *Front Microbiol*, 9: 2141.
- Lindsey, A.P.J., Murugan, S., & Renitta, R.E. (2020). Microbial disease management in agriculture: Current status and future prospects. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 23: 101468.
- López, M.M., Llop, P., Olmos, A., Marco-Noales, E., Cambra, M., & Bertolini, E. (2009). Are molecular tools solving the challenges posed by detection of plant pathogenic bacteria and viruses? *Current issues in Molecular Biology*, 11(1): 13-46.
- Louws F.J., Fulbright D.W., Stephens C.T., & de Bruijn F.J. (1994). Specific genomic fingerprints of phytopathogenic *Xanthomonas* and *Pseudomonas* pathovars and strains generated with repetitive sequences and PCR. *Applied and Environmental Microbiology*, 60: 2286-22.
- Louws F.J., Rademaker J.L.K., & de Bruijn F.J. (1999). The three Ds of PCR-based genomic analysis of phyto bacteria: Diversity, Detection, and Diagnosis. *Annual Review of Phytopathology*, 37: 81-125.
- Mahlein, A.K. (2016). Plant disease detection by imaging sensors – parallels and specific demands for precision agriculture and plant phenotyping. *Plant Dis.*, 100(2): 241-251. doi: 10.1094/PDIS-03-15-0340-FE
- Mahmood, I., Imadi, S. R., Shazadi, K., Gul, A., & Hakeem, K. R. (2016). Effects of pesticides on environment. *Plant, soil and microbes: volume 1: implications in crop science*, 253-269.

- Manceau C., & Horvais A. (1997). Assessment of genetic diversity among strains of *Pseudomonas syringae* by PCR-restriction fragment length polymorphism analysis of rRNA operons with special emphasis on *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*. Applied and Environmental Microbiology, 63: 498-505.
- Mansfield, J., Genin, S., Magori, S., Citovsky, V., Sriariyanum, M., Ronald, P., Dow, M., Verdier, V., Beer, S., Machado, M., Toth, I., Salmond, G., & Foster, G.D. (2012). Top 10 plant pathogenic bacteria in molecular plant pathology. Mol Plant Pathol, 13: 614-629.
- Martinelli, F., Scalenghe, R., Davino, S., Panno, S., Scuderi, G., Ruisi, P., ... & Dandekar, A.M. (2015). Advanced methods of plant disease detection. A review. Agronomy for sustainable development, 35, 1-25.
- Mathivanan, R., Umavathi, S., Ramasamy, P.K., & Thangam, Y. (2015). Influence of vermicompost on the activity of the plant growth regulators in the leaves of the Indian butter bean plant, *Dolichos lab lab* L. Int. J. Adv. Res. Biol. Sci., 2(1): 84–89.
- Misaghi, I.J. (1982). Physiology and biochemistry of plantpathogen interactions. Plenum Press, New York p. 271.
- Mitchell, R.E. (1991). Implications of toxins in the ecology and evolution of plant pathogenic microorganisms: bacteria. Experientia, 47: 791-803.
- Mohammad-Razdari, A., Rousseau, D., Bakhshipour, A., Taylor, S., Poveda, J., & Kiani, H. (2022). Recent advances in E-monitoring of plant diseases. Biosens Bioelectron., 201:113953.
- Molina, L., Rezzonico, F., De Fago, G., & Duffy, B. (2005). Autoinduction in *Erwinia amylovora*: evidence of an acylhomoserine lactone signal in the fire blight pathogen. J Bacteriol, 187: 3206-3213.
- Morgan, M., & Chatterjee, A.K. (1988). Genetic organization and regulation of proteins associated with production of syringotoxin by *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*. Journal of Bacteriology, 170(12): 5689-5697.
- Nassar A., Darrase A., Lematre M., Kotoujansky A., Dervin C., Vedel R., & Bertheau Y. (1996). Characterization of *Erwinia chrysanthemi* by pectinolytic isozyme polymorphism and restriction fragment length polymorphism analysis of PCR

- amplified fragments of *pel* genes. Applied and Environmental Microbiology 62: 2228-2235.
- Neves, D.A., Guimarães, L.M.S., Ferraz, H.G.M., & Alfenas, A.C. (2014). Favorable conditions for *Xanthomonas axonopodis* infection in *Eucalyptus* spp. Trop Plant Pathol, 39: 428–433.
- Nezhad, A.S. (2014). Future of portable devices for plant pathogen diagnosis. Lab on a Chip, 14(16): 28.
- Nino Liu, D., Ronald, P., & Bogdanove, A. (2006). *Xanthomonas oryzae* pathovars: model pathogens of a model crop. Mol Plant Pathol, 7: 303–324.
- Oerke, E.C. (2006). Crop Losses to Pests. Journal of Agricultural Science, 144:31-43.
- Palacio-Bielsa, A., Cambra, M.A., & López, M.M. (2009). PCR detection and identification of plant-pathogenic bacteria: updated review of protocols (1989-2007). Journal of Plant Pathology, 91(2): 249-297.
- Penfold, C. N., Bende C. L., & Turner, J.G. (1996). Characterisation of genes involved in biosynthesis of coronafacic acid, the polyketide component of the phytotoxin coronatine. Gene, 183: 167-173.
- Poovizhi, J., & Krishnaveni, B. (2015). Synthesis, characterization and antimicrobial activity of zinc oxide nanoparticles synthesized from *Calotropis procera*. Int J Pharm Sci Drug Res., 7: 425-431.
- Poveda, J. (2021). Insect frass in the development of sustainable agriculture. A review. Agronomy for Sustainable Development, 41(1): 5.
- Prabhu, Y.T., Rao, K.V., Kumari, B.S., Kumar, V.S.S., Pavani, T. (2015). Synthesis of Fe₃O₄ nanoparticles and its antibacterial application. Int Nano Lett., 5: 85-92.
- Rajapaksha, P., Elbourne, A., Gangadoo, S., Brown, R., Cozzolino, D., & Chapman, J. (2019). A review of methods for the detection of pathogenic microorganisms. Anal., 144 (2): 396–411.
- Raza, M.M., Harding, C., Liebman, M., & Leandro, L.F. (2020). Exploring the potential of high-resolution satellite imagery for the detection of soybean sudden death syndrome. Remote Sens., 12 (7): 1213.
- Ruan, X., Zhang, C., & Peters, N.K. (1993). *Bradyrhizobium japonicum* rhizobitoxine genes and putative enzyme functions: expression requires a translational frameshift. Proc. Natl. Acad. Sci., 90: 2641-2645.

- Ruiz-Altisent, M., Ruiz-Garcia, L., Moreda, G.P., Lu, R., Hernandez-Sanchez, N., Correa, E.C., ... & García-Ramos, J. (2010). Sensors for product characterization and quality of specialty crops-A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 74(2): 176-194.
- Ryan, R.P., Vorholter, F.J., Potnis, N., Jones, J.B., Van Sluys, M.A., Bogdanove, A.J., & Dow, J.M. (2011). Pathogenomics of *Xanthomonas*: understanding bacterium-plant interactions. *Nat Rev Microbiol*, 9: 344–355.
- Saeki, E.K., Kobayashi, R.K.T., & Nakazato, G. (2020). Quorum Sensing System: Target to Control the Spread of Bacterial Infections. *Microb. Pathog.*, 142: 104068.
- Saygılı, H., Şahin, F., & Aysan, Y. (2006). *Fitobakteriyoloji*. Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri, İzmir.
- Sebahia, M., Bocsanczy, A.M., Biehl, B.S., Quail, M.A., Perna, N.T., Glasner, J.D., De Clerck, G.A., Cartinhour, S., Schneider, D.J., Bentley, S.D., Parkhill, J., & Beer, S.V. (2010). Complete genome sequence of the plant pathogen *Erwinia amylovora* strain ATCC 49946. *J Bacteriol*, 192: 2020–2021.
- Sekurova, O.N. Schneider, O. & Zotchev, S.B. (2019). Novel Bioactive Natural Products from Bacteria via Bioprospecting, Genome Mining and Metabolic Engineering. *Microb. Biotechnol.*, 12:828–844.
- Sharma, A., & Gupta, A.K. (2017). New insights in the biological control of crown gall through native *Agrobacterium radiobacter* strain UHFBA-218. *Plant Dis Res*, 32: 137–152.
- Sharma, A., Gupta, A.K., & Devi, B. (2023). Current trends in management of bacterial pathogens infecting plants. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 116(4): 303-326.
- Sharma, A., Gupta, A.K., Mahajan, R., & Bharti, M.P.K. (2017). Antagonistic potential of native agrocin producing non-pathogenic *Agrobacterium tumefaciens* strain UHFBA-218 in control of crown gall on peach. *Phytoprotection*, 97: 1–11.
- Singh, K.P., Jahagirdar, S., & Sarma, B.K. (Eds.). (2021). *Emerging trends in plant pathology*, Singapore: Springer. p. 577-590.
- Siphathele, S., Lucy, N.M., Divine, Y.S., & Teresa, A.C. (2018). Quorum sensing in gram-negative plant pathogenic bacteria. *Adv Plant Pathol.*, <https://doi.org/10.5772/intechopen.78003>.

- Smith I.M. (1979) EPP0: The work of a regional plant protection organization, with particular reference to phytosanitary regulations. In: Ebbels DL, King JE (eds) Plant health: the scientific basis for control of plant diseases and pests. Blackwell Scientific, Oxford, p 13–22.
- Steyer, D.J., & Durbin, R.D. (1982). Common ragweed: a new host of *P. syringae* pv. *tagetis*. Plant Disease, 66: 71.
- Streck, N.A., Pinheiro, D.G., Junior Zanon, A., Gabriel, L.F., Rocha, T.S.M., Souza, A.T.D., & Silva, M.R.D. (2014). Effect of plant spacing on growth, development and yield of cassava in subtropical environment. Bragantia, 73: 407-415.
- Struik, P.C., & Kuyper, T.W. (2017). Sustainable intensification in agriculture: the richer shade of green. A review. Agronomy for sustainable development, 37: 1-15.
- Szczesny, R., Jordan, M., Schramm, C., Schulz, S., Cogež, V. & (2010). Functional characterization of the Xcs and Xps type II secretion systems from the plant pathogenic bacterium *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*. New Phytol., 187: 983-1002.
- Tekintaş, Y., & Hoşgör-Limoncu, M. (2018). Modern diagnostic methods used in bacteriology: rapid and effective. Klimik Derg., 31(3): 176-80.
- Thayer, P.L., & Stall, R.E. (1962). The survey of *Xanthomonas vesicatoria* resistance to streptomycin. In Proceedings of the Florida State Horticultural Society. 75: 163-165.
- Türkkan, M., & Dolar, F.S. (2008). Fitotoxinlerin Bitki Hastalıklarındaki Rolü. Journal of Agricultural Sciences, 14(01): 87-94.
- Veena, D. R., Priya, H.R., Raheesa, M.K., & Divya, J. (2014). Soilborne diseases in crop plants and their management. Research ve Reviews: Journal of Agriculture and Allied Sciences, 3(2):12-18.
- Venbrux, M., Crauwels, S., & Rediers, H. (2023). Current and emerging trends in techniques for plant pathogen detection. Front. Plant Sci., 14: 1120968.
- Verdier V., Mosquera G., & Assigbetse K. (1998). Detection of the cassava bacterial blight pathogen, *Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis* by polymerase chain reaction. Plant Disease, 82: 79-83.

- Versalovic J., de Bruijn F.J., & Lupski J.R. (1998). Repetitive sequence-based PCR (rep-PCR) DNA fingerprinting of bacterial genomes. In: de Bruijn F.J., Lupski J.R., Weinstock G.M. (eds.). *Bacterial Genomes: Physical Structure and Analysis*, p. 437-454. Chapman ve Hall, New York, NY, USA.
- Wang, G., Whittam, T.S., Berg, C.M., & Berg, D.E. (1993). RAPD (arbitrary primer) PCR is more sensitive than multilocus enzyme electrophoresis for distinguishing related bacterial strains. *Nucleic Acids Research*, 21: 5930-5.
- Wang, L., Chen, S., Peng, A., Xie, Z., He, Y., & Zou, X. (2019a). CRISPR/Cas9-mediated editing of CsWRKY22 reduces susceptibility to *Xanthomonas citri* subsp. *citri* in Wanjincheng orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck). *Plant Biotechnol Rep*, 13(5): 501–510.
- Wang, L., Yang, Li, Y., Gan, Y.L., Yang, F., Liang, X.L., Li, W.L., & Le, J.B. (2019b). Two lytic transglycosylases of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* associated with cell separation and type III secretion system, respectively. *FEMS Microbiol Lett*, 366: 1–18.
- Yogev, A., Raviv, M., Kritzman, G., Hadar, Y., Cohen, R., Kirshner, B., & Katan, J. (2009). Suppression of bacterial canker of tomato by composts. *Crop Protect.* 28: 97-103. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2008.09.003>.
- Zaker, M. (2016). Natural plant products as eco-friendly fungicides for plant diseases control-a review. *The Agriculturists*, 14(1): 134-141.
- Zechner, E.L., Lang, S., & Schildbach, J.F. (2012). Assembly and mechanisms of bacterial type IV secretion machines. *Philos Trans R Soc Lond B*, 367: 1073–1087.
- Zhang, J-H., Quigley N.B., & Gross, D.C. (1997). Analysis of the syrP gene, which regulates syringomycin synthesis by *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*. *Applied and Environmental Microbiology*, 63(7): 2771-2778.
- Zhang, L., & Birch R.G. (1997). The gene for albicidin detoxification from *Pantoea dispersa* encodes an esterase which attenuates pathogenicity of *Xanthomonas albilineans* to sugarcane. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 94: 9984-9989.
- Zhang, Y., Rowley, K.B., & Patil, S.S. (1993). Genetic organization of a cluster of genes involved in the production of phaseolotoxin, a toxin produced by

- Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola*. Journal of Bacteriology, 175(20): 6451-6458.
- Zhou, L., Huang, T.W., Wang, J.Y., Sun, S., Chen, G., Poplawsky, A., & He, Y.W. (2013). The rice bacterial pathogen *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* produces 3-hydroxybenzoic acid and 4-hydroxybenzoic acid via XanB2 for use in xanthomonadin, ubiquinone, and exopolysaccharide biosynthesis. Mol Plant Microbe Interact, 26(10): 1239–1248.
- Zubair, M. Farzand, A. Mumtaz, F. Khan, A.R., Sheikh, T.M.M., Haider, M.S., Yu, C., Wang, Y., Ayaz, M., Gu, Q., et al. (2021). Novel Genetic Dysregulations and Oxidative Damage in *Fusarium graminearum* Induced by Plant Defense Eliciting Psychrophilic *Bacillus atrophaeus* Ts1. Int. J. Mol. Sci., 22: 12094.
- Zubler, A.V., & Yoon, J.-Y. (2020). Proximal methods for plant stress detection using optical sensors and machine learning. Biosensors, 10(12): 193. doi: 10.3390/bios10120193

BÖLÜM 11

KAVAKLARDA GÖRÜLEN APHID (HEMIPTERA: APHIDIDAE)'LERİN ÜLKEMİZDEKİ DURUMU

Doç. Dr. Işıl ÖZDEMİR¹
Ayhan KARAKAYA²
Doç. Dr. Mustafa ÖZDEMİR³
Sümeyye BAYRAM⁴

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13767893>

¹ Kocaeli Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Kocaeli, Türkiye, isil.ozdemir@kocaeli.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-9542-7442

² Kavak ve Hızlı Gelişen Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Kocaeli, Türkiye, ayhankarakaya@ogm.gov.tr, Orcid ID: 0000-0002-9696-647X

³ Kavak ve Hızlı Gelişen Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Kocaeli, Türkiye, mustafaozdemir11@ogm.gov.tr, Orcid ID: 0000-0002-7232-0594

⁴ Kocaeli Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Kocaeli, Türkiye, sumeyye.bayram@kocaeli.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-5091-8467

GİRİŞ

Kavak, söğütgiller (Salicaceae) familyasından *Populus* cinsini oluşturan hemen bütün taksonları ağaç halinde bulunan, iki evcikli odunsu bitkilerdir. Kavak Ülkemizde ticari amaçla yetiştirilen ve kullanılan bir ağaç türüdür. Kavak yetiştiriciliği genellikle ahşap, enerji, mobilya, kâğıt üretimi gibi amaçlarla yapılır. Aynı zamanda peyzaj düzenlemeleri için de tercih edilen bir ağaçtır. Dünyada ve ülkemizde yapılan çalışmalar kültür ve yabani bitkilerde en yaygın ve zararlı böcek gruplarından birinin Sternorrhyncha alttakımına bağlı yaprakbitleri olduğunu ortaya koymuştur. Bu zararlının ortak özellikleri genel olarak çok döl verip, hızlı çoğalmaları, bitkilerin özsuyunu emerek, gelişmesini engellemeleri, yaprak, tomurcuk, çiçek dökümü, kuruma ve ölüme neden olmalarıdır. Ayrıca salgıladıkları ballı maddelerin bitkileri kaplayarak kirletmesi ile fumajin oluşturmaları ve bitki hastalıklarını nakletmeleri de önemli diğer zararlarıdır (Toros vd. 2002).

Dünyada sanayide yaşanan gelişmeler odun hammadde talebini de gün geçtikçe artırmaktadır. Doğal ormanlardan yapılan üretim ile bu talebin karşılanması mümkün görülmemektedir. Endüstriyel ormancılık bu talebin karşılanmasında önemli bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. Plantasyon ormancılığı doğal ormanlar üzerindeki üretim baskısının azaltılması açısından da oldukça önemlidir. Endüstriyel ağaçlandırmaların tesisinde kullanılan kavak türü, yüksek artım gücü, vejetatif olarak kolayca üretilebilmesi, odununun çeşitli sanayi kollarında kullanılabilmesi ve dünya genelinde yaygın olarak yetiştirilmesi bakımından en önemli hızlı gelişen ağaç türleri arasında yer almaktadır (Ünal ve ark., 2016)

Ülkemizde ılıman bölgelerde Melez kavak (*Populus x euramericana* Monech) ve Amerikan karakavağı (*Populus deltoides* Marsh.) yetiştirilmesine rağmen, doğal olarak yayılış gösteren ve ekolojik değere sahip Karakavak (*Populus nigra* L.), Titrek kavak (*Populus tremula* L.), Akkavak (*Populus alba* L.), Fırat kavağı (*Populus*

euphratica Oliv.) ve Boz kavak (*Populus x canescens* Aiton) olarak 5 kavak türü bulunmaktadır (Velioglu et al., 2020). Güner ve ark. (2012)'nin yapmış olduğu çalışmayı esas alan Türkiye Bitkileri Listesinde ise *Populus x euramericana*, *P. deltoides*, *P. tremula* subsp. *grandidentata*, *P. tremula* subsp. *tremula*, *P. alba* var. *alba*, *P. alba* var. *pyramidalis*, *P. afghanica*, *P. × canadensis*, *P. canescens*, *P. nigra* subsp. *nigra*, *P. nigra* subsp. *caudina*, *P. euphratica*, *P. hybrida* taksonları yer almaktadır (Anonim 2024).

Kavak, çeşitli endüstrilerdeki kullanımı ve ekolojik avantajları nedeniyle önemlidir. Odun üretiminde kavak ağaçları, hızlı büyüme yetenekleri sayesinde odun üretimi için idealdir. İnşaat, mobilya ve kağıt endüstrilerinde kullanılan hafif ve dayanıklı ahşap sağlar. Ekosistem katkısında kavak ağaçları, toprak erozyonunu önleyebilir ve su kalitesini artırabilir. Ayrıca, sulama suyunu iyi kullanma özellikleri sayesinde su kaynaklarını koruma potansiyeline sahiptirler. Hızlı büyümede kavaklar, diğer ağaç türlerine kıyasla daha hızlı büyürler. Bu özellikleri, kısa vadeli odun taleplerini karşılamak için avantajlıdır. Yenilenebilir kaynak olarak ise kavak yetiştiriciliği, sürdürülebilir bir şekilde yönetildiğinde sonuçları memnun edicidir.

Genellikle su kaynaklarına yakın alanlarda yapılır, çünkü kavaklar suyu iyi kullanırlar. Ayrıca, hava koşullarına dayanıklı olmaları ve kolayca çoğalmaları, kavak yetiştiriciliğini ekonomik olarak cazip kılar. Ülkemizde gittikçe artan odun hammaddesi açığının kapatılmasında, kısa rotasyon süreli, hızlı gelişen tür plantasyonlarının oldukça önemli bir rol oynayacağı açıktır. Kavak odununun kullanım alanının genişliği, kültürünün kolay yapılabilmesi ve hızlı büyümesi nedeniyle ülkemizin odun hammaddesi açığının kapatılmasında alternatif tür olarak önem kazanmıştır. Türkiye'de ise 3,5 milyon m³ /yıl üzerinde kavak odun hammaddesi üretilmektedir. Üretilen hammaddenin, yaklaşık 1,5 milyon m³ /yıl yerli karakavak klonlarından yaklaşık 2 milyon m³ /yıl ise yabancı kavak klonlarından sağlanmaktadır (Birler, 2010)

Türkiye dünyanın çok az yerinde rastlanır ölçekte tür ve ekosistem çeşitliliğine sahiptir. Tür çeşitliliğindeki bu zenginliğin bilinen canlı türlerinin yaklaşık üçte ikisini oluşturan böcekler için de geçerli olmaması düşünülemez. Bu yüksek çeşitliliğin sonuçlarından biri de birçok böcek türünün orman alanlarında ve orman plantasyonlarında zararlı olabilmeleri ve ekonomik kayıplara neden olabilmeleridir. Kavaklarda da kök, gövde, kabuk altı, yaprak, sürgün ve tomurcuklarda zarara neden olan çok sayıda zararlı bulunmaktadır. Örnek olarak *Capnodis miliaris* (Klug, 1829) (Coleoptera: Buprestidae) kavak ağaçları ve fidanlarda köklerde beslenerek önce büyümeyi durdurur, daha sonra da zayıflama ve tümünden kurumalara neden olur (Anonim, 1994). *Chrysomela populi* (L. 1758) (Coleoptera: Chrysomelidae), *Hyphantria cunea* (Drury, 1773) (Lepidoptera: Erebiidae), *Trachypteris picta* (Pallas, 1773) (Coleoptera: Buprestidae), *Paranthrene tabaniformis* (Rottemburg, 1775) (Lepidoptera: Sesiidae), *Cryptorhynchus lapathi* (Linnaeus, 1758) (Coleoptera: Curculionidae) ve *Agrilus ater* (Linnaeus, 1767) (Coleoptera: Buprestidae) gibi türler kavaklarda kurumalara, gelişim bozukluklarına ve önemli ekonomik kayıplara neden olabilen zararlılardır (Çanakçıoğlu, 1983; Anonim, 1994; Özay, 1997; Şimşek, 2005). Yine bazı zararlılar hastalık taşınmasına da vektör olarak zararın daha da artmasına sebep olabilmektedir. *Paranthrene tabaniformis* (Rottemburg & von, 1775) gövde içerisinde beslenerek verdiği zararın yanında kavaklarda kurumalara neden olan fungal bir hastalık olan *Cytospora chrysosperma* (Pers.) Fr.'nin bulaşmasına da kaynaklık edebilmektedir (Aktaş ve ark., 2008).

Dünyada ve ülkemizde yapılan çalışmalar kültür ve yabani bitkilerde en yaygın ve zararlı böcek gruplarının arasında Sternorhynca alttakımına bağlı yaprakbitleri (Aphidoidea)'nin olduğunu ortaya koymuştur (Blackman and Eastop 2006). Bu zararlı grubunun ortak özellikleri genel olarak çok döl verip, çiçek dökümü, kuruma ve ölüme

neden olmalarıdır. Ayrıca salgıladıkları ballı maddelerin bitkileri kaplayarak kirletmesi ile fumajin oluşturmaları önemli diğer zararlarıdır. Dünyada kavak üzerinde tespit edilen 178'ün üzerinde Aphidoidea türü bulunmaktadır (Blackman, and Eastop, 2024). Dünyada konukçusu kavak olan 31 cinsine ait 178 yaprakbiti türü bulunmaktadır. Bunlardan *Pemphigus* cinsinden 51 kavak türü üzerinde beslenirken, *Chaitophorus* 37, *Pterocomma* 24, *Pachypappa* 11, *Thecabius* 10, *Epipemphigus* 9, *Aphis*, *Pachypappella* ve *Phylloxerina* 4, *Gootiella* ise 2 tür ile bunu takip etmektedir. Geriye kalan 20 cinsin (*Aspidophorodon*, *Aulacorthum*, *Ceratoglyphina*, *Chaitogenophorus*, *Clydesmithia*, *Cornaphis*, *Doraphis*, *Eriocolophium*, *Fullawayia*, *Lachnus*, *Lambersaphis*, *Longistigma*, *Mordwilkoja*, *Myzus*, *Neopemphigus*, *Neopterocomma*, *Phloeomyzus*, *Prociphilus*, *Stomaphis*, *Tuberolachnus*) ise kavak üzerinde beslenen birer türü bulunmaktadır (Blackman, and Eastop, 2024). Aphid türleri yapraklarda, sürgünlerde ve dallarda, hatta bazen gövde üzerinde emgi yaparak buldukları ağaçlara zarar verirler. Poljaković-Pajnik et al. (2016) yaptıkları çalışmada yaprak bitlerinin türüne de bağlı olarak kolonileştikleri kavak yapraklarında fotosentezde %25-75 oranında düşüşe neden olabildiklerini göstermişlerdir. Bu durum idare süresi 10-15 yıl (Karakaya et al., 2014) olan, giderek bu sürenin daha da kısaltılması için çalışmaların sürdüğü kavaklarda gelişim seyri ve biyokütle olarak önemli kayıplara sebep olması muhtemeldir. Yaprak ve yaprak saplarında gal oluşturarak beslenen türler, oluşturdukları gal içerisinde bulunuyor olmaları nedeniyle kimyasal mücadeleleri oldukça zor ve kısıtlı zaman aralığında mümkün olabilmektedir. Yapraklar dışında, gövde ve dalların üzerinde koloni oluşturan türler de mevcuttur. Bunlardan *Phloeomyzus passerinii* (Signoret) ağaç kabuğu parankimal dokularıyla beslenen bir türdür. Ağaç yapısını değiştirerek kabukta çatlaklara ve odun nekrozuna neden olur. Bu yaprak bitinin büyük popülasyonları ağaçları öldürebilir. Başka bir yaprak biti olan *Tuberolachnus salignus* Gmelin türü istila ettikleri ağaçların büyümesini yavaşlatabileceği gibi ölümüne de sebep

olabilmektedir (Charles et al., 2018). Kavaklarda önemli bir hastalık etmeni olan Kavak mozaik virüsü (poplar mosaic virüs, PVM) gibi önemli virüs hastalıklarının taşınmasında vektörlerin rolü tam olarak anlaşılabilmiş olmasa da genel anlamda yaprak bitleri önemli virüs vektörleridir. Bu nedenle kavak afitlerinin kavak dışındaki konukçu çeşitliliğinin biliniyor olması, bitki hastalıkların yayılımının anlaşılması ve önüne geçilmesinde önemli bir dayanak noktası olacaktır.

Bu çalışmada konukçusu kavak olan ya da konukçuları arasında kavak bulunan yaprak biti türleri, bu konukçu türlerin Türkiye florasında bulunup bulunmaması da dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Çalışma Türkiye’de yayılış gösteren kavak yaprak bitleri konukçularının detaylı incelemesi ve konukçu ara konukçu ilişkilerinin anlaşılmasına katkı sağlamak amacıyla ele alınmıştır.

MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada konukçusu kavak olan yaprak bitleri ele alınmıştır. Onlayn ya da literatür kullanılarak oluşturulan veri tabanları kullanılarak veriler sorgulanmıştır. Türkiye’de yayılış gösteren yaprak biti türleri veri tabanı için Kök ve Özdemir (2021), Blackman and Eastop (2024)’den, yaprakbiti konukçu veri tabanı için Holman (2009)’dan, Türkiye bitki için Güner ve ark. (2012)’ni esas alan Anonim (2024) verilerinden yararlanılmıştır.

Türkiye’deki kavak türleri için Velioğlu et al. (2020) ve Anonim (2024)’de verilen taksonlar tür kategorisinde ele alınmıştır. Anonim (2024)’de yer alan dolayısıyla Türkiye’de yasılışı bilinen *Populus afghanica* üzerinde Holman (2009)’a göre hiç yaprak biti kaydı bulunmadığı ve GBIF Secretariat (2023)’e göre *Populus nigra* var. *afghanica* Aitch. & Hemsl’in sinonimi olarak verildiğinden değerlendirmeye dahil edilmemiştir. Yine Holman (2009) tarafından *Populus pyramidalis* Rozier olarak verilen konukçunun GBIF Secretariat (2023)’e göre *Populus nigra* var. *italica* Koehne’nin sinonimi olması

nedeniyle, bu taksona ilişkin konukçu kayıtları *P. nigra*'ya aktarılmıştır. *P. hybrida* ise hem Holman (2009) hem de GBIF Secretariat (2023)'de *P. canescens*'in sinonimi olarak belirtilmektedir. Bütün bu veriler doğrultusunda oluşturulan liste ile değerlendirmeye alınan türler *Populus alba*, *P. nigra*, *P. tremula*, *P. canescens*, *P. euphratica*, *P. x euramericana*, *P. Deltoides*, *P. canadensis* olarak belirlenmiş, cins seviyesinde verilen kayıtlar *Populus sp.* adı altında değerlendirilmiştir.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Özdemir et al (2024) tarafından Holman (2009) esas alınarak yapılan çalışmaya göre Palaearctic bölgede yayılış gösteren ve Türkiye'de de varlığı bilinen 33 türün konukçuları arasında kavak bulunmaktadır (Acatay 1943, Acatay 1959, Alkan 1952, Çanakçıoğlu 1966, 1967, 1972, 1975, 1983, 1999). Holman (2009) *Aphis craccivora* Koch, 1854'yı Mukhamediev (1979)'e ve *Eriosoma lanuginosum* (Hartig, 1839)'u ise Chakrabarti and Sarkar (2001)'a dayanarak kavak üzerinde beslenen türler arasında sıralamıştır. Blackman and Eastop (2024) kavak konukçuları arasında bu türlere yer vermemiştir. Her iki çalışma birlikte değerlendirildiğinde Türkiye'de yayılış gösteren ve konukçusunun kavak olma olasılığı bulunan 36 tür bulunmaktadır. Ancak daha sonraki yıllarda kavak üzerinde beslenen başka türlerin ve özellikle istilacı türlerin faunaya eklenmesi ile bu sayının arttığı görülmektedir. Türkiye'de yetişen kavak türleri üzerindeki yaprak biti türleri kayıtlarının dayandığı yayınlar Çizelge 1'de listelenmiştir. Çizelgede yer alan *Chaitophorus clarus* Chakrabarti & Raychaudhuri, 1975, *Doraphis populi* (Maskell, 1898), *Pemphigus borealis* Tullgren 1909, *Pemphigus fuscicornis* (Koch, 1857), *Pemphigus gairi* Stroyan 1964 ve *Pterochloroides persicae* (Cholodkovsky, 1899) olmak üzere 6 türün faunaya katılımı ile ülkemizde kavak üzerinde kaydı verilen türler ile henüz kavak üzerinde tespit edilememiş, ancak konukçuları arasında kavak olan türlerin toplamı 42'ye yükselmiştir (Çizelge 2). Ülkemizde kavak yaprak bitleri ile ilgili ilk veriler Trotter (1903) ile başlamış,

bugüne kadar yapılan 66 çalışmada 372 kayıt verilmiştir (Çizelge 1). Kavak yaprakbitlerinin kaydedildiği yayın sayılarının yıllara göre değişimi ve istilacı türler ile ilgili tespitler Şekil 1’de verilmektedir. Verilen grafiğe göre kavak yaprak bitleri ile ilgili kayıtların 2000’li yıllardan itibaren artmaya başladığı, 2004 yılından itibaren de istilacı türlerin ülkemizde tespit edilme sayısında artış olduğu görülmektedir.

Çizelge 1. Türkiye’de yetişen kavak türleri üzerindeki yaprak bitleri ve konukçu kayıtlarının dayandığı yayınlar

Tür	Konukçu
<i>Aphis maculatae</i> Oestlund, 1887	<i>Populus</i> sp. (Tepecik 2010)
<i>Aphis</i> sp.	<i>Populus</i> sp. (Uysal et al. 2006)
<i>Aulacorthum solani</i> (Kaltenbach, 1843)	<i>Populus nigra</i> (Güleç 2011)
<i>Chaitophorus clarus</i> Tseng & Tao 1936	<i>Populus tremula</i> (Görür et al. 2023)
<i>Chaitophorus euphraticus</i> Hodjat, 1981	<i>Populus nigra</i> (Akyürek 2013, 2022); <i>Populus</i> sp. (Görür 2014)
<i>Chaitophorus indicus</i> Ghosh & Raychaudhuri, 1970	<i>Populus</i> sp. (Görür 2014; Şenol et al. 2015; Parmaksız Durmaz 2019); <i>Populus</i> spp. (Görür et al. 2020)
<i>Chaitophorus kapuri</i> Hille Ris Lambers, 1966	<i>Populus</i> sp. (Görür et al. 2009, Akyıldırım et al. 2014, Görür 2014)
<i>Chaitophorus leucomelas</i> Koch, 1854	<i>Populus alba</i> (Düzgüneş et al. 1982; Toros et al. 2002; Uysal et al. 2006; Güleç 2011), <i>Populus canadensis</i> (<i>Chaitophorus versicolor</i> Koch olarak

Tür	Konukçu
	<p>verilmiştir) (Çanakçıoğlu 1975), <i>P. canadensis</i> (Tuatay 1999; Uysal et al. 2006), <i>Populus nigra</i> (Tuatay and Remaudière 1964; Düzgüneş et al. 1982; Tuatay 1999; Uysal et al. 2006; Toper Kaygın et al. 2008; Güleç 2011; Gümüş & Avcı 2015), <i>P. nigra</i> (Tür ismi <i>Chaitophorus versicolor</i> Koch, 1854 olarak verilmiştir) (Çanakçıoğlu 1966; Çanakçıoğlu 1967; Çanakçıoğlu 1975), <i>P. nigra</i> (Tür ismi <i>Chaitophorus versicolor</i> Koch, konukçu bitki <i>Populus nigra</i> var <i>pyramidalis</i> olarak verilmiştir) (Özkazanç ve Yücel 1985; Toper Kaygın et al. 2008), <i>Populus</i> sp. (Bodenheimer and Swirski 1957; Tuatay et al. 1972; Düzgüneş et al. 1982; Toros et al. 1996; Kök 1999; Toros et al. 2002; Ölmez Bayhan et al. 2003; Aslan 2002; Aslan and Uygun 2005; Ölmez Bayhan et al. 2006; Şahbaz and Uysal 2006; Görür et al. 2009; Gümüş 2013; Görür 2014; Kök et al. 2016; Kök et al. 2018; Kök and Kasap 2019), <i>Populus</i> sp. (<i>Chaitophorus versicolor</i> Koch, 1854 olarak verilmiştir) (Çanakçıoğlu 1967; (Çanakçıolu and Toper 1999; Sekendiz, 1974), <i>Populus</i> spp. (Tuatay 1999)</p>
<p><i>Chaitophorus longisetosus</i> Szelegiewicz, 1959</p>	<p><i>Populus</i> sp (Görür et al. 2009b; Akyürek 2013; Akyıldırım et al. 2014), <i>Populus tremula</i> (Akyürek 2013, 2022)</p>
<p><i>Chaitophorus melanosiphon</i> Pintera, 1987</p>	<p><i>Populus nigra</i> (Toper Kaygın et al. 2008), <i>Populus</i> sp. (Görür et al. 2009b; Akyürek 2013; Görür 2014; Akyürek 2022), <i>Populus</i> spp. (Görür et al. 2020)</p>
<p><i>Chaitophorus populeti</i> (Panzer, 1801)</p>	<p><i>Populus alba</i> (Bodenheimer and Swirski 1957; Çanakçıoğlu 1967; Sekendiz, 1974; Çanakçıoğlu 1975; Özkazanç ve Yücel 1985; Tepecik 2010;</p>

Tür	Konukçu
	Güçlü et al. 2015;), <i>Populus nigra</i> (Bodenheimer and Swirski 1957; Tuatay 1999; Toper Kaygın et al. 2008); <i>Populus</i> sp. (Düzgüneş and Tuatay 1956; Tuatay et al. 1967; Tuatay et al. 1972; Tuatay 1999; Çanakçiolu and Toper 1999; Tepecik 2010; Akyürek 2013; Görür 2014; Akyürek 2022; Başer et al 2024), <i>Populus tremula</i> (Çanakçioğlu 1966; Çanakçioğlu 1967; Çanakçioğlu 1975; Tozlu 2001; Görür 2022)
<i>Chaitophorus populiabae</i> (Boyer de Fonscolombe, 1841)	<i>Populus alba</i> (Tuatay et al. 1967; Tuatay et al. 1972; Tuatay 1999; Uysal et al. 2006; Toper Kaygın et al. 2008), <i>P. alba</i> (<i>Chaitophorus albus</i> Mordvilko, 1901 olarak verilmiştir) (Çanakçioğlu 1966; Çanakçioğlu 1967), <i>Populus nigra</i> (Güleç 2011; Akyıldırım Beğen and Görür 2023), <i>Populus</i> sp. (Toros et al. 2002; Şahbaz and Uysal 2006; Görür et al. 2009b; Tepecik 2010; Akyürek 2013; Gümüş 2013; Gümüş & Avcı 2015; Görür 2014; Akyürek 2022; Başer et al 2024), <i>Populus</i> spp. (Görür 2004a; Eser et al. 2009; Görür et al. 2020), <i>Populus tremula</i> (Uysal et al. 2006)
<i>Chaitophorus populifolii</i> (Essig, 1912)	<i>Populus</i> spp. (Bu tür Görür (2004a) tarafından <i>Chaitophorus neglectus</i> Hottes & Frison, 1931 olarak verilmiştir. <i>C. neglectus</i> Hottes & Frison, 1931 Hille Ris Lambers (1960)'e göre <i>Chaitophorus populifolii</i> subsp. <i>simpsoni</i> Hille Ris Lambers, 1960'nin sinonimidir.)
<i>Chaitophorus</i> sp.	<i>Populus</i> sp. (<i>Chaitophorus</i> sp. (? <i>leucomelas</i> Koch, 1854) olarak verilmiştir) (Tuatay 1999)

Tür	Konukçu
<i>Chaitophorus tremulae</i> Koch, 1854	Konukçu belirtilmemiş (Tuatay and Remaudière 1964), <i>Populus alba</i> (Çanakçioğlu 1966; Çanakçioğlu 1967), <i>Populus</i> sp. (Kök 1999; Görür 2014; Kök and Kasap 2019), <i>Populus</i> spp. (Görür et al. 2020), <i>Populus tremula</i> (Tuatay & Remaudière 1964; Çanakçioğlu 1975; Tuatay 1999; Tozlu 2001), <i>Populus x euramaricana</i> (Çanakçioğlu and Toper 1999; Toper Kaygın et al. 2008)
<i>Doraphis populi</i> (Maskell, 1898)	<i>Populus</i> sp. (Akyıldırım Beğen et al. 2023)
<i>Eriosoma</i> sp.	<i>Populus</i> sp. (Uysal et al. 2006)
<i>Macrosiphum</i> sp.	<i>Populus</i> sp. (Uysal et al. 2006)
<i>Mordwilkoja vagabunda</i> (Walsh, 1863)	<i>Populus nigra</i> (Yıldız and Toper Kaygın 2010; Yıldız 2015)
<i>Pachypappa</i> <i>warshavensis</i> Nasonov, 1894	<i>Populus alba</i> (Uysal et al. 2006)
<i>Pemphigus?</i> <i>spyrothecae</i> Passerini, 1860	<i>Populus nigra</i> (Konukçu <i>Populus pyramidalis</i> Rozier olarak verilmiştir) (Çanakçioğlu 1966)
<i>Pemphigus borealis</i> Tullgren 1909	<i>Populus</i> sp. (Çalışmada <i>Pemphigus</i> (<i>Pemphigus</i>) <i>borealis</i> Tullgren 1909 (Gümüş 2013)
<i>Pemphigus bursarius</i> (Linnaeus, 1758)	<i>Populus nigra</i> (Trotter 1903; Fahringer 1922; Acatay 1943, 1959; Schimitschek 1944; Alkan 1952; Bodenheimer and Swirski 1957; Çanakçioğlu 1966; Çanakçioğlu 1967; Sekendiz, 1974; Uysal et al. 2006; Gümüş & Avcı 2015), <i>P. nigra</i> (<i>Populus pyramidalis</i> olarak verilmiştir) (Alkan 1952;

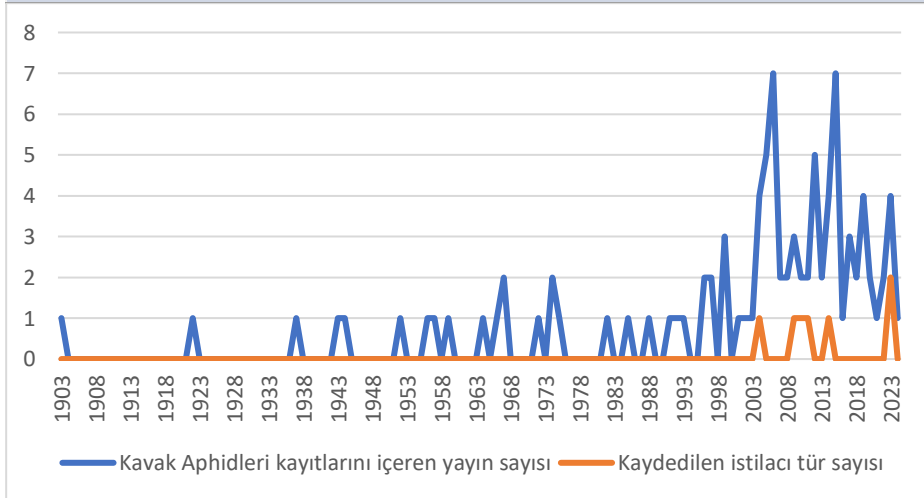
Tür	Konukçu
	Bodenheimer and Swirski 1957), <i>P. nigra</i> (<i>Populus nigra</i> var. <i>pyramidalis</i> olarak verilmiştir) (Özkazanç ve Yücel 1985), <i>P. nigra</i> (<i>Pemphigus piriformis</i> Lichtenstein, 1886 olarak verilmiştir. Bu isim <i>P. bursarius</i> 'un sinonimidir (Trotter 1903), <i>Populus</i> sp. (Tuatay et al. 1967; Tuatay et al. 1972; Düzgüneş et al. 1982; Ölmez Bayhan et al. 2003; Aslan 2005; Aslan and Uygun 2005; Şahbaz and Uysal 2006; Uğur et al. 2006; Gümüş 2013), <i>Populus x euramericana</i> (Çanakçılıoğlu and Topper 1999; Topper Kaygın et al. 2008)
<i>Pemphigus fuscicornis</i> (Koch, 1857)	<i>Populus nigra</i> (Görür et al. 2023a)
<i>Pemphigus gairi</i> Stroyan 1964	<i>Populus nigra</i> (Gümüş 2013; Gümüş & Avcı 2015)
<i>Pemphigus immunis</i> Buckton, 1896	<i>Populus alba</i> (Güleç 2011), <i>Populus canadensis</i> (Uysal et al. 2006), <i>Populus nigra</i> (Sekendiz, 1974; Düzgüneş et al. 1982; Toros et al. 2002; Uysal et al. 2006) <i>P. nigra</i> (Tür ismi <i>Pemphigus lichtensteini</i> Tullgren olarak verilmiştir) (Alkan 1952; Bodenheimer and Swirski 1957; Çanakçılıoğlu 1967), <i>P. nigra</i> (Tür ismi <i>Pemphigus lichtensteini</i> Tullgren, konukçu bitki <i>Populus nigra</i> var. <i>pyramidalis</i> olarak verilmiştir) (Acatay 1959; Çanakçılıoğlu 1966), <i>P. nigra</i> (Tür ismi <i>Pemphigus lichtensteini</i> Tullgren, konukçu bitki <i>Populus pyramidalis</i> olarak verilmiştir) (Giray 1974), <i>Populus</i> sp. (Kök 1999; Aslan 2005; Aslan and Uygun 2005; Ölmez Bayhan et al. 2006; Şahbaz and Uysal 2006; Uğur et al. 2006; Uysal et al. 2006; Çüçen 2007; Gümüş 2013; Görür 2014; Gümüş & Avcı 2015; Kök and Kasap

Tür	Konukçu
	2019) <i>Populus</i> sp. (Konukçu bitki <i>Pemphigus lichtensteini</i> Tullgren, 1909 olarak verilmiştir) (Acatay 1943; Tuatay et al. 1967; Tuatay et al. 1972; Görür et al. 2009b; Tepecik 2010), <i>Populus</i> spp. (Görür et al. 2020), <i>Populus x euramericana</i> (Çanakçiolu and Topper 1999; Topper Kaygın et al. 2008)
<i>Pemphigus phenax</i> Börner & Blunk, 1916	<i>Populus</i> spp. (Şenol et al. 2014)
<i>Pemphigus populi</i> Courchet, 1879	<i>Populus nigra</i> (Trotter 1903; Çanakçioğlu 1967; Sekendiz, 1974; Uysal et al. 2006; Gümüş 2013; Gümüş & Avcı 2015), <i>P. nigra</i> (Konukçu bitki <i>Populus nigra</i> var. <i>pyramidalis</i> olarak verilmiştir (Çanakçioğlu 1966), <i>Populus</i> sp. (Düzgüneş et al. 1982; Özkazanç ve Yücel 1985; Görür 2014),
<i>Pemphigus populinigrae</i> (Schränk, 1801)	<i>Populus canadensis</i> (Tür ismi <i>Pemphigus filaginis</i> (Boyer der Fonscolombe, 1841) olarak verilmiştir) (Acatay 1943; Bodenheimer and Swirski 1957; Çanakçioğlu 1966; Sekendiz, 1974), <i>Populus nigra</i> (Tür ismi <i>Pemphigus marsupialis</i> Courchet 1880 olarak verilmiştir (Trotter 1903), <i>P. nigra</i> (Tür ismi <i>Pemphigus filaginis</i> Boyer der Fonscolombe, konukçu bitki <i>Populus nigra</i> var. <i>pyramidalis</i> olarak verilmiştir) (Acatay 1959; Çanakçioğlu 1966), <i>Populus</i> sp. (Tür ismi <i>Pemphigus filaginis</i> Boyer der Fonscolombe olarak verilmiştir) (Tuatay et al. 1967; Tuatay et al. 1972; Özkazanç ve Yücel 1985)
<i>Pemphigus protospirae</i> Lichtenstein, 1884	<i>Populus nigra</i> (Acatay 1943; Bodenheimer and Swirski 1957; Acatay 1959; Çanakçioğlu 1967; Sekendiz, 1974; Çanakçioğlu and Topper 1999;

Tür	Konukçu
	Uysal et al. 2006; Toper Kaygın et al. 2008), <i>P. nigra</i> (Konukçu bitki <i>Populus pyramidalis</i> olarak verilmiştir) (Alkan 1952; Bodenheimer and Swirski 1957), <i>P. nigra</i> (Konukçu bitki <i>Populus nigra</i> var. <i>pyramidalis</i> olarak verilmiştir) (Acatay 1959, Çanakçıoğlu 1966), <i>Populus</i> sp. (Uğur et al. 2006; Çüçen 2007; Gümüş 2013; Görür 2014; Gümüş & Avcı 2015), <i>Populus</i> spp. (Görür et al. 2020)
<i>Pemphigus</i> sp.	<i>Populus alba</i> (Toros et al. 2002), <i>Populus</i> sp. (Düzgüneş and Tuatay 1956, Kök 1999)
<i>Pemphigus spyrothecae</i> Passerini, 1856	<i>Populus nigra</i> (Trotter 1903; Acatay 1943; Alkan 1952; Bodenheimer and Swirski 1957; Acatay 1959; Sekendiz, 1974; Uysal et al. 2006; Gümüş 2013), <i>P. nigra</i> (Konukçu bitki <i>Populus pyramidalis</i> olarak verilmiştir) (Alkan 1952; Bodenheimer and Swirski 1957), <i>Populus</i> sp. (Düzgüneş et al. 1982; Toros et al. 1996; Uğur et al. 2006; Uysal et al. 2006; Görür 2014a; Görür 2014; Gümüş & Avcı 2015), <i>Populus</i> spp. (Olcabey 2012; Olcabey et al. 2012; Görür et al. 2020)
<i>Pemphigus vesicarius</i> Passerini, 1861	<i>Populus nigra</i> (Alkan 1952; Bodenheimer and Swirski 1957; Tuatay et al. 1972; Özkazanç ve Yücel 1985; Toros et al. 2002; Ünal and Özcan 2005; Uysal et al. 2006; Gümüş 2013; Gümüş & Avcı 2015), <i>P. nigra</i> (Tür ismi <i>Mordwilkoja vesicalis</i> Pass., konukçu bitki <i>Populus nigra</i> var. <i>pyramidalis</i> olarak verilmiştir) (Acatay 1959), <i>Populus</i> sp. (Tuatay et al. 1967; Tuatay et al. 1972; Düzgüneş et al. 1982; Şahbaz and Uysal 2006; Uğur

Tür	Konukçu
	et al. 2006; Görür et al. 2009b; Tepecik 2010 Görür 2014;), <i>Populus</i> spp. (Görür et al. 2020)
<i>Phloeomyzus passerinii</i> (Signoret, 1875)	<i>Populus alba</i> (Bodenheimer and Swirski 1957; Tuatay and Remaudière 1964; Özdemir 2020), <i>Populus canadensis</i> (Bodenheimer and Swirski 1957; Yüksel and Öztürk 2023), <i>Populus deltoides</i> (Yüksel and Öztürk 2023), <i>Populus nigra</i> (Bodenheimer and Swirski 1957; Tuatay and Remaudière 1964; Özkazanç ve Yücel 1985; Tuatay 1999; Uysal et al. 2006), <i>P. nigra</i> (Tür ismi <i>Phloeomyzus redelei</i> Hille Ris Lambers, 1931 olarak verilmiştir) (Tuatay and Remaudière 1964; Tuatay et al. 1967; Tuatay et al. 1972), <i>Populus</i> sp. (Tuatay et al. 1967; Tuatay et al. 1972; Toros et al. 1996; Görür et al. 2009b; Akyıldırım et al. 2014; Görür 2014; Parmaksız Durmaz 2019), <i>Populus</i> sp. (Tür ismi <i>Phloeomyzus redelei</i> Hille Ris Lambers, 1931 olarak verilmiştir) (Tuatay and Remaudière 1964), <i>Populus</i> spp. (Tuatay 1999)
<i>Pterochloroides persicae</i> (Cholodkovsky, 1899)	<i>Populus</i> sp. (Düzgüneş and Tuatay 1956)
<i>Pterocomma populeum</i> (Kaltenbach, 1843)	<i>Populus alba</i> (Toros et al. 2002), <i>Populus canadensis</i> (Çanakçıoğlu 1966; Çanakçıoğlu 1967; Uysal et al. 2006); <i>Populus nigra</i> (Tuatay and Remaudière 1964; Çanakçıoğlu 1966; Çanakçıoğlu 1967; Uysal et al. 2006), <i>Populus</i> sp. (Bodenheimer and Swirski 1957; Çanakçıoğlu 1967; Tuatay et al. 1972; Tuatay et al. 1967; Sekendiz, 1974; Özkazanç

Tür	Konukçu
	ve Yücel 1985; Geneci and Görür 2007; Görür et al. 2009b; Akyürek 2013; Görür 2014)
<i>Pterocomma</i> sp.	<i>Populus canadensis</i> (Uysal et al. 2006)
<i>Thecabius affinis</i> (Kaltenbach, 1843)	<i>Populus nigra</i> (Acatay 1943; Bodenheimer and Swirski 1957; Çanakçioğlu 1966; Çanakçioğlu 1967; Özkazanç ve Yücel 1985, Uysal et al. 2006), <i>P. nigra</i> (Tür ismi <i>Pemphigus affinis</i> Kaltenbach, 1843 olarak verilmiştir) (Trotter 1903), <i>P. nigra</i> (Konukçu bitki <i>Populus nigra</i> var. <i>pyramidalis</i>) (Acatay 1959), <i>Populus</i> sp. (Alkan 1952; Bodenheimer and Swirski 1957; Sekendiz, 1974; Düzgüneş et al. 1982; Özkazanç ve Yücel 1985; Görür 2014)
<i>Thecabius lysimachiae</i> Börner, 1916	<i>Populus</i> sp. (Görür et al. 2009b)



Şekil 1. Türkiye’de kavak yaprakbiti kayıtlarının yer aldığı yayın ve istilacı tür sayısının yıllara göre değişimi.

Yaprakbiti Türleri										D	O
<i>Chaitophorus melanosiphn</i>									✓		00
<i>Chaitophorus nigrinus</i>											0
<i>Chaitophorus populeti</i>	✓	✓	✓								7,5
<i>Chaitophorus populialbae</i>	✓	✓	✓						✓		5,7
<i>Chaitophorus populifolii</i>									✓		00
<i>Chaitophorus tremulae</i>	✓		✓						✓		00
<i>Doraphis populi</i>											00
<i>Eriosoma lanuginosum</i>											4,3
<i>Mordwilkoja vagabunda</i>		✓									6,7
<i>Myzus persicae</i>										19	,2
<i>Pachypappa warshavensis</i>											3,3
<i>Pemphigus borealis</i>									✓		0

Yaprakbiti Türleri										D	O
<i>Pterocomma pilosum</i>										2	,3
<i>Pterocomma populeum</i>	✓	✓					✓	✓		4	7,1
<i>Pterocomma rufipes</i>										1	,1
<i>Stomaphis longirostris</i>											0
<i>Thecabius affinis</i>		✓						✓		2	3,3
<i>Thecabius lysimachiae</i>											3,3
<i>Tuberolachnus salignus</i>										5	0

1. *Populus alba*, 2. *Populus nigra*, 3. *Populus tremula*, 4. *Populus canescens*, 5. *Populus euphratica*, 6. *Populus x euramericana*, 7. *Populus deltoides*, 8. *Populus canadensis*, 9. *Populus sp.*,

KD: Kavak dışında Türkiye'deki olası konukçu tür sayısı, KO: Kavak türlerinin diğer konukçulara oranı (%)

X: Literatür bilgisine göre konukçu, X✓: Konukçu bilgisi ile uyumlu kayıt, ✓: Yeni konukçu kaydı

Türkiye'de hangi yaprak biti türünün kavaklar üzerinde daha yaygın olduğunu ortaya koyan çalışmalar yeterli olmasa da mevcut koşullarda kavak yaprak bitlerinin yayınlarda yer alma sayılarına bakılarak yaygın türün ne olabileceği konusunda fikir edinilebilir. Bu düşünceden yola çıkılarak *Chaitophorus leucomelas*'in 42 yayında yer

alan dolayısıyla en fazla kaydı geçen tür konumunda olduğu görülebilmektedir. Bunu sırasıyla *Pemphigus immunis*, *Chaitophorus populeti*, *Pemphigus bursarius*, *Phloeomyzus passerinii* 25 ve üstü kayıt sayıları ile takip etmektedir. Cins, tür ya da türü kesinleştirilememiş 25 taksonun ise kaydedilme sayıları 10'un altındadır (Şekil 2). Bu veriler değerlendirilirken, türün yayılışının farklı ekolojilerde konukçu türlerde ya da zaman periyotlarında farklılık gösterebileceği unutulmamalıdır. Yaprak bitlerinin kavak türleri ile ilişkisinin netleştirilebilmesi için türe özgü çalışmaların sayısının artırılmasına ihtiyaç vardır. Türkiye'de verilen kayıtlardan 173'ü *Populus* sp. ya da *Populus* spp. şeklindedir (Çizelge 1). Dolayısıyla 372 kaydın 199'nda konukçu kavak türü ile ilgili kesin bilgiler mevcuttur. Olası konukçular ve mevcut kayıtların özetlendiği Çizelge 2'ye dayanılarak, türe yönelik veriler ile oluşturulan grafik (Şekil 3) değerlendirilecek olursa *Pterocomma populeum*'un Türkiye'de yayılış gösteren bütün kavak türlerinde görülme potansiyelinin olduğu anlaşılmaktadır. Bu yaprak bitini *Chaitophorus leucomelas* ve *C. populeti* yedi muhtemel konukçu ile takip etmektedir. Ancak her üç yaprak biti de bugüne kadar ülkemizde üçer kavak türü üzerinde tespit edilmişlerdir. Bu türleri yine üçer konukçu kaydı ile *Chaitophorus populiae*, *Pemphigus immunis* ve *Phloeomyzus passerinii* takip etmektedir. *Chaitophorus clarus*, *C. melanosiphon*, *C. tremulae*, *Pachypappa warshavensis* ve *Pemphigus immunis* türlerinin ise Türkiye'de yeni konukçu kayıtlarının olduğu görülmektedir. *Aphis craccivora*, *A. fabae*, *A. gossypii*, *Chaitophorus nigritus*, *Eriosoma lanuginosum*, *Myzus persicae*, *Pemphigus fuscicornis*, *Pterocomma pilosum*, *P. rufipes*, *Stomaphis longirostris* ve *Tuberolachnus salignus* ise literatürde konukçuları arasında bulunmasına rağmen (Holman 2009, Blackman and Eastop 2024) Türkiye'de henüz kavak üzerinde tespit edilmemişlerdir.

Holman (2009), Blackman and Eastop (2024) ve Türkiye'deki kayıtlara dikkate alınarak kavak yaprakbitlerinin diğer konukçuları

değerlendirildiğinde (Çizelge 2) kavak dışında en fazla konukçuya sahip olan (polifag) türler *Myzus persicae*, *Aphis craccivora*, *Aphis fabae*, *A. gossypii* ve *Aulacorthum solani*'dir. Daha önce de bahsedildiği gibi bazılarının kavak üzerindeki varlığının netleştirilebilmesi için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulsa da bu türlerin birçok farklı konukçudan kavaklara geçme ihtimalleri bulunmaktadır. Yine aynı çizelgeye göre konukçular arasında kavak türlerinin oranına bakıldığında *Aphis maculatae*, *Chaitophorus clarus*, *C. euphraticus*, *C. indicus*, *C. kapuri*, *C. longisetosus*, *C. melanosiphon*, *C. populifolii*, *C. tremulae*, *Doraphis populi*, *Pemphigus spyrothecae* ve *Phloeomyzus passerinii* mevcut konukçu bilgilerine göre kavak üzerinde özelleşmiş türler gibi görünmektedir. Bu türlerle kavak fidanlıklarında mücadeleye önem vererek bu zararlıların yeni sahalara ulaşmasının engellenmesi önem arz etmektedir.

Kavak ağaçlandırmasının ilk yıllarında bazı tarla bitkilerinin yetiştiriciliği yapılabilmektedir. Intercropping, yani ara ekim, tarımda yaygın olarak kullanılan bir yöntem olup, farklı bitki türlerinin aynı alanda birlikte yetiştirilmesini içerir. Bu faaliyet, yatırım maliyetini bir miktar azaltmakta veya yetiştiricinin yıllık tarım ürünü ihtiyacını karşılamaktadır. Kavak altında yürütülen ara tarımın 3 yıl devam ettirilebildiği ifade edilmektedir (Anonim 2024). Kavak yetiştiriciliğinde ara ekimin etkilerinin belirlenmesi için yürütülmüş çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Gill et al. 2008, Asadi et al. 2012, Singh et al. 2016, Kimura et al. 2018, Silvestri et al. 2018, Agarwal et al. 2024). Bu çalışmalarda daha çok seçilen ara ürünün türü, yıllara göre verim ve kalitedeki değişimi, kavak sıra aralıklarının verime etkisi, uygun kavak çeşitlerinin belirlenmesi ve ara ekimin kavakta verimliliği gösteren parametreler üzerindeki etkisine odaklanılmaktadır. Birçok sebze, tahıl, baklagil ve tıbbi aromatik bitkiler ile yapılan ara ekim denemelerinin bazılarında kavak gelişiminin olumlu yönde etkilendiğine ilişkin sonuçlar elde edilmiştir.

Bu yöntem aynı zamanda biyolojik çeşitliliği artırarak ekosistemin daha dengeli olmasına katkıda bulunabilir. Genel anlamda değerlendirilecek olursa ara ekim monokültür ekime kıyasla sıklıkla zararlı ve hastalıklı organizmalardan daha az zarar görür. Ancak bu savunmanın etkinliği çok farklılık gösterir. Ara ekimde bağlantılı bitkilerin varlığı, üç şekilde zararlıların popülasyon büyüme hızının yavaşlamasına neden olabilir. Birincisinde ortak alanda yetiştirilen ürünlerde, saldırıya uğrayan bileşenin bitkilerini daha az iyi konukçular haline getirir; ikincisinde saldırganın eylemlerine doğrudan müdahale ederler ve üçüncüsünde, saldırganın doğal düşmanlarının lehine olacak şekilde ara üründeki ortamı değiştirirler (Agarwal et al 2023). Çeşitli bitki türlerinin bir arada bulunması faydalı böcekler için barınak ve besin kaynağı sağlar ve zararlıların biyolojik kontrolüne yardımcı olabilir. Bazı endofag parazitoitler ergin dönemlerinde polen ve nektarlar ile beslenmeye ihtiyaç duyar. Ara ekiminde polen ve nektar sağlayan bitkiler, faydalı böceklerin popülasyonunu artırabilir. Bu böcekler, kavağa zarar veren böcekleri kontrol altına alabilir. Ara ekim ile ya da ara ekimin yapılamadığı ilerleyen yıllarda konukçuları arasında kavak olmayan yaprak bitlerinin alanda yerleşmesine göz yumulması Coccinellidae (Coleoptera), Chrysopidae (Neuroptera) gibi bilinen yaprakbiti predatörlerinin yoğunluğunun artmasını sağlayabilir.

Intercropping yöntemi, kavak ağaçlarında zararlı kontrolüne önemli katkılarda bulunabilir. Farklı bitki türlerinin aynı alanda yetiştirilmesi, zararlıların biyolojik kontrolünü artırarak kimyasal pestisit kullanımını azaltır ve ekolojik dengeyi korur. Yapılan çalışmalar, bu yöntemin kavak zararlılarının popülasyonlarını kontrol altına almak için etkili bir strateji olduğunu göstermektedir. Intercropping, sürdürülebilir tarım ve ormancılık uygulamaları için önemli bir araç olarak değerlendirilebilir.

Zararlıların kontrolünde entegre mücadele ve biyolojik mücadele gibi ekolojik temele dayalı zararlı kontrol yöntemlerinin iyi

kurgulanabilmesi için zararlı-faydalı arasındaki trofik ilişkilerin ve bunun diğer komponentler ile ilişkisinin iyi biliniyor olması önemlidir. İnsan müdahalesinin olduğu alanlarda bu bileşenlerden bazıları ya da bir bölümü kaybedilebilir. O nedenle, hızlı gelişen tür olması ve kullanım alanının yaygınlığı nedeniyle öne çıkan ve endüstriyel ormancılık için önemli bir faaliyet alanı olan kavak yetiştiriciliğinde zararlıların yanında faydalı türler üzerine de odaklanması ve faydalı popülasyonunu destekleyen tedbirlerin alınması gerekmektedir. Bunun için kavak plantasyonlarının yanında, doğal kavak popülasyonlarının bulunduğu galeri ormanları ve sulak alanlarda yürütülecek çalışmalar ile zararlı-faydalı kompleksi ve bunlar arasındaki ilişkiler konusunda daha net ve değerli veriler elde edilebilecektir.

KAYNAKÇA

- Agarwal, Y., Ramchandra, K., Srivastav, A., Kumar, H., and Singh, B. K. (2024). Correlation Studies on Different Growth Parameter of Spice Crops under Poplar Based Agroforestry System. *International Journal of Environment and Climate Change*, 14(1), 213–221. <https://doi.org/10.9734/ijecce/2024/v14i13827>.
- Agarwal, Y., Singh, B., Kumar, A., Kumar, H. (2023). *Intercropping under Poplar Based Agroforestry Systems, Poplar Farming*. Biotech Books, New Delhi, ISBN: 978-81-7622-529-8, pp. 139-150.
- Anonim, (2024). Sıkça Sorulan Sorular. Kavak ve Hızlı Gelişen Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Kocaeli, <https://www.ogm.gov.tr/kavakcilik/sikca-sorulan-sorular>, (Erişim tarihi: 06.06.2024).
- Acatay, A. (1943). *Istanbul Çevresi ve Bilhassa Belgrad Ormanındaki Zararlı Orman Böcekleri, Mücadeleleri ve İşletme Üzerine Tesirleri*. Yüksek Ziraat Enstitüsü Yayınları, Ankara, 163 pp.
- Acatay, A. (1959). Pappelschadlinge in der Türkei. *Anz.für Schadlingskunde*, XXXII (9): 129-34.
- Aktaş, H., Şimşek, Z., Kondur, Y. (2008). İç Anadolu Bölgesi'nde kavaklarda kurumalara neden olan *Cytospora chrysosperma* "Pers." Fr.'nın morfolojik özellikleri, zarar durumu ve *Paranthrene tabaniformis* (Rott.) (Lepidoptera: Sesiidae) arasındaki ilişkiler. *Bitki Koruma Bülteni*, 48 (3): 1-14.
- Akyıldırım, H., Şenol, Ö., Görür, G., Aktaş, N. and Demirtaş, E. (2014). Determined aphid and ant associations from Trabzon, Rize and Artvin Provinces of the Turkey. *Journal of the Entomological Research Society*, 16 (2), 29–37.
- Akyıldırım Beğen, H., & Görür, G. (2021). The Aphid Fauna (Hemiptera: Aphidoidea) and Host Plants of The Büyükada Island (İstanbul, Turkey). *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 7(1), 1-11.
- Akyıldırım Beğen, H., Görür, G., Şenol, Ö., Başer, G. (2023). Aphid species (Hemiptera: Aphidoidea) determined from Antalya, Karaman and Muğla with new aphid records. *Turkish Journal of Entomology*, 47(3), 317-328.

- Akyürek, B. (2013). Samsun ili Aphididae (Hemiptera: Aphidoidea) Familyası Türlerinin Taksonomik Yönden İncelenmesi. Ph.D. Thesis, Graduate School of Science and Engineering, Ondokuz Mayıs University, Samsun, 378 pp.
- Akyürek, B. (2022). New additional aphid (Hemiptera: Aphidoidea: Aphididae) records for Samsun (Turkey) province. *International Journal of Science Letters (IJSL)*, 4(1): 169-182.
- Alkan, B. (1952). Türkiye'nin Zoosesidleri (Kökene Hayvansal Bitki Uurları) Üzerinde çalışmalar. *Zirai Mücadele Araştırmaları Yıllığı*, 1, 6–29.
- Anonim, (1994). Türkiye'de Kavakçılık. Orman Bakanlığı, Kavak ve Hızlı Gelişen Tür Orman Ağaçları Araştırma Müdürlüğü, İzmit, 224 s.
- Anonim, (2024). Bizim bitkiler. Available from <https://bizimbitkiler.org.tr/v2/index.php> (Accessed 18th January 2024).
- Asadi, M., Mirvaghefi, A., Nematollahi, M., Banaee, M. and Ahmadi, K. (2012). Effects of Watercress (*Nasturtium nasturtium*) extract on selected immunological parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Open Veterinary Journal* 2(1): 32-39.
- Aslan, M., Uygun, N. (2005). Aphids (Homoptera. Aphididae) of Kahramanmaraş Province, Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 29(3), 201 - 209.
- Aslan, M.M., (2002). Kahramanmaraş ilinde Aphidoidea türleri ile bunların parazitoid ve predatörlerinin saptanması. Doktora tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 136s.
- Başer, G., Görür, G., & Şenol, Ö. (2024). New additions to the aphid (Hemiptera: Aphididae) fauna of Turkey from Erzurum Province. *Research in Agricultural Sciences*, 55(1), 19-25
- Birler, A. S. (2010). Türkiye'de kavak yetiştirme: Fidanlık-ağaçlandırma-koruma-hâsılat-ekonomi-odun özellikleri. Çevre ve Orman Bakanlığı Yayın No: 393 Kavak ve Hızlı Gelişen Orman Ağaçları Araştırma Müdürlüğü Yayın No: 262, 224p.
- Blackman, R.L., Eastop, V.F. (2024). Aphids of the world's plants. An online identification and information guide. Available from <http://www.aphidsonworldsplants.info> (Accessed 18th January 2024).

- Bodenheimer, F.S. and Swirski, E. (1957). The Aphidoidea of the Middle East. The Weizmann Science Press of Israel, Jerusalem, 378 pp.
- Chakrabarti, S. and Sarkar, A. (2001). A supplement to the food-plant catalogue of Indian Aphididae (Homoptera). *J. Aphidol.* 15: 9–62
- Charles, J. Nef, L., Allegro, G. Collins, Clayborn Delplanque, A. Gimenez, R. Hogland, S. Jiafu, H. S. Larsson, Y. Luo, P. Parra, Singh, Arun W.J.A. Volney, Augustin, S. (2018). Insect and other pests of poplars and willows in Poplars and Willows: Trees for Society and the Environment edited by J.G. Isebrands and J. Richardson. A co-publication of the Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations and the Centre for Agricultural Bioscience International (CABI). 650 pp. 10.1079/9781780641089.0000.
- Çanakçıoğlu, H. (1966). A study of the forest Aphidoidea of Turkey. *Rev. Fac. Sci. Forest. Univ. İstanbul (A)* 16: 131–190.
- Çanakçıoğlu, H. (1972). The Forest Aphidoidea (Homoptera) of Turkey (in Turkish, Engl. & German summ.). *Rev. Fac. Sci. Forest. Univ. İstanbul (A)* 22: 106–122.
- Çanakçıoğlu, H. (1966). Türkiye’de orman ağaçlarına arz olan bitkibitleri (Aphidoidea) üzerine araştırmalar. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 16 (2), 131–139.
- Çanakçıoğlu, H. (1967). Türkiye’de Orman Ağaçlarına Arz Olan Bitkibitleri (Aphidoidea) Üzerine Araştırmalar. Sıra No 466, Seri No 22. Tarım Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 151 pp.
- Çanakçıoğlu, H. (1975). The Aphidoidea of Turkey. Istanbul University Faculty of Forestry Publications, Istanbul, 309 pp.
- Çanakçıoğlu, H. (1983). Orman Entomolojisi Özel Bölüm. I. Ü. Orm. Fak. Yay. İ. Ü. Yay. No. 3152, O. F. Yay. No. 349, 536 s.
- Çanakçıoğlu, H. and Topper, A. (1999). Bartın yöresinde kavak ağaçlarında yaşayan böcekler. *İstanbul Üniv. Orman Fak. Derg.*, Seri A, 49 (2):97-103.
- Çanakçıoğlu, H. (1967). Türkiye’ de orman ağaçlarına arız olan bitki bitleri (Aphidoidea) üzerine araştırmalar. T.C. Tarım Bakanlığı, Orman Genel Müd. Yayınları Sıra No: 466, Seri No: 22, VIII, 151 s.
- Çanakçıoğlu, H. (1975). The Aphidoidea of Turkey. İstanbul Üniv. Orman Fak. Yay., İ.Ü. Yayın No: 1751, O.F. Yayın No: 189, 309 s.

- Çüçen, M. G. (2007). Erzurum Orman Fidanlığındaki Zararlı ve Faydalı Böcek Türleri. Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, Artvin, 76s.
- Düzgüneş, Z. and Tuatay, N. (1956). Türkiye Aphid'leri. Ziraat Vekaleti, Ankara Ziraat Mücadele Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 64 pp.
- Düzgüneş, Z., Toros, S., Kılınçer, N. and Kovancı, K. (1982). Ankara İlinde Bulunan Aphidoidea Türlerinin Parazit ve Predatörlerinin Tesbiti. Tarım ve Orman Bakanlığı, Ziraat Mücadele ve Karantina Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 251 pp.
- Eser, S. İ., Görür, G., Tepecik, İ., Akyıldırım, H. (2009). Aphid (Hemiptera: Aphidoidea) Species of the Urla District of İzmir Region. Journal of Applied Biological Sciences, 3 (1), 99-102.
- Fahringer, J. (1922). Eine Rhynchotenausbeute aus der Türkei, Kleinasien und den Benachbarten Gebieten. Konowia, 1: 137-44, pp. 296-307.
- GBIF Secretariat (2023). GBIF Backbone Taxonomy. Checklist dataset <https://doi.org/10.15468/39omei> accessed via GBIF.org on 2024-03-06.
- Geneci, E., Görür, G. (2007). Aphid (Homoptera: Aphididae) species of the Central Aksaray. International Journal of Engineering Science, 1, 19–21.
- Gill, B. S, Singh, A., Singh, D., Gandhi, N. (2008). Studies on intercropping of medicinal, aromatic and spice crops in poplar plantation. Indian Journal of Agronomy. 53(4):295-298.
- Giray, H. (1974). İzmir ili ve çevresinde Aphididae familyası türlerine ait ilk liste ile bunların konukçu ve zarar şekilleri Hakkında Notlar. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 11 (1), 39–69.
- Görür, G. (2014). İç Batı Anadolu Bölümü Afıt (Hemiptera: Aphidoidea) Faunasının Belirlenmesi. Turkish Scientific Research Council Project Reports, Ankara, 235 pp.
- Görür, G. (2004 a). Aphid (Insecta: Homoptera: Aphidoidea) Species of Nigde Province of Turkey. No. 17. Nigde University Publications, Nigde, 140 pp.
- Görür, G. (2022). Contribution to the aphid fauna of the Ordu province with first record of an exotic aphid species, *Euceraphis gillettei* Davidson, 1915, in Turkey. Turk J Zool: 46: 418-422.

- Görür, G., (2004b). Niğde yöresi afitleri (Insecta: Homoptera: Aphidoidea). Niğde Üniv. Yay.: 17, Fen Edeb. Fak. Yay.:8, 140 s.
- Görür, G., Başer, G., Akçay, B. V., Şenol, Özhan, & Akyıldırım Beğen, H. (2023). New Records of Aphids (Hemiptera: Aphidoidea) From Türkiye With New Host Plant and Ant Interactions. *Journal of Applied Biological Sciences*, 17(3), 529–537.
- Görür, G., Şenol, Ö., Akyıldırım Beğen, H., Başer, G. (2020). Preliminary Indications of the Determined Aphid Species on *Populus* spp. from Karaman, Muğla and Antalya Provinces of Turkey. 2nd Int. Symp. on Biodiversity Res, Rize, Turkey, 18-20 Nov. 227
- Görür, G., Zeybekoğlu, Ü., Akyürek B., Işık, M. and Akyıldırım, H. (2009). Trabzon, Rize ve Artvin illerinin Afıt (Homoptera: Aphididae) Faunasının Belirlenmesi. Turkish Scientific Research Council Project Reports, Ankara, 223 pp.
- Görür, G., Şenol, Ö., Beğen, H., Başer, G., Akçay, B.V. (2023). A Further Contribution to the Aphid (Hem.: Aphidoidea) Fauna of Turkey Including a Description of a New Host Plant Associations and Colony App. *J. Entomol. Res. Soc.*, 25(1): 181-191
- Güçlü, Ş., Kavaz, H., Güçlü, C., Özdemir, İ. (2015). Aphids (Hemiptera: Aphididae) and their parasitoids on ornamental trees and shrubs in Erzurum, Turkey. *Turkish Journal of Entomology*, 39 (1) 3-9.
- Güleç, G. (2011). Antalya Şehri Park Alanlarında Aphidoidea (Hemiptera) Türlerinin Saptanması ve Doğal Düşmanlarının Belirlenmesi. Ph.D. Thesis, Graduate School of Science and Engineering, Ankara University, Ankara, 325 pp.
- Gümüş, A. (2013). Isparta İlinde Kavak Zararlısı Böcekler, Önemli Türlerin Biyolojileri ve Avcıları. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lis. Tez., 131s
- Gümüş, A. and Avcı, M. (2015). Isparta ilinde kavak zararlısı böcekler ve avcıları. *Turkish Journal of Forestry*, 16 (2), 11–129.
- Güner, A., Aslan, S., Ekim, T., Vural, M., Babaç, M.T., (edlr.) (2012). Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler). Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını. İstanbul.

- Hille Ris Lambers, D. (1960). The genus *Chaitophorus* Koch in North America (Homoptera, Aphididae). Tijdschrift voor Entomologie, 103(1-2), 1–30.
- Holman, J. (2009). Host plant catalog of aphids, Palearctic Region, Springer, Branisovska. Check Republic.
- Karakaya, S., Daşdemir, İ., Ercan, M. (2014). Kavak Üreticilerinin ve Kavak Odunu İşleyen İşletmelerin Sosyo-Ekonomik Yapısı- Sorunları-Beklentileri (Sakarya ve Kocaeli Örneği). Türkiye Milli Kavak Koordinatörlüğü VIII. Genel Kurul Toplantısı Tebliğler Kitabı, 13-14 Kasım 2014, Kocaeli, KHGOA Araştırma Enstitüsü, Müdürlük Yayın No:272, Çeşitli Yayınlar Serisi No: 72, s.7-16.
- Kimura, E., Fransen, S. C., Collins, H., P., Stanton, B. J., Himes, A., Smith, J., Guy, S. O., Johnston, W. J. (2018). Effect of intercropping hybrid poplar and switchgrass on biomass yield, forage quality, and land use efficiency for bioenergy production. Volume 111, Pages 31-38, ISSN 0961-9534, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.01.011>.
- Kök, Ş. (1999). Çanakkale ve Balıkesir İlleri Yaprakbiti (Hem.: Aphididae) Faunası ile Doğal Düşmanlarının Belirlenmesi ve *Myzus cerasi* (Fabricius, 1775)'nin Biyolojisi Üzerine Çalışmalar. Çanakkale Ün. Fen B. Enst. Doktora Tezi, 274s.
- Kök, Ş., Kasap, İ., and Özdemir, İ. (2016). Aphid (Hemiptera: Aphididae) species determined in Çanakkale Province with a new record for the aphid fauna of Turkey. Turkish Journal of Entomology, 40(4): 397-412.
- Kök, Ş., Aktaş, N., Özdemir, İ., Kasap, İ. (2018). The new association records on ants (Hymenoptera: Formicidae) and aphids (Hemiptera: Aphididae) in the Central Province of Çanakkale. Plant Protection Bulletin, 58(1), 47-53.
- Kök, Ş., and Kasap, İ. (2019). Aphid (Hemiptera: Aphididae) species of the South Marmara Region of Turkey including the first record of *Dysaphis radicola meridialis* Shaposhnikov, 1964 for the aphid fauna of Turkey. Türk. entomol. derg., 43(1), 63-78.
- Kök, Ş. and Özdemir, I. (2021). Annotated Systematic Checklist of the Aphids (Hemiptera: Aphidomorpha) of Turkey. Zootaxa 4925 (1): 001–074.
- Mukhamediev, A.A. (1979). *The aphids of the Fergana valley*. Tashkent, 80 pp.
- Olcabey, G, Akyıldırım Beğen, H., Şenol, Ö., Görür, G. (2012). Niğde ve Kayseri illerinde *Populus* spp. üzerinde gal oluşturan *Pemphigus spyrothecia* türünün

- RAPD tekniği ile genetik analizi. Tam metin- (03.09.2012 - 07.09.2012) - 21. Ulusal Biyoloji K.
- Olcabey, G. (2012). Kayseri ve niğde illerinde *Populus* spp.'de gal oluşturan *Pemphigus spyrothecae* afit türünün ortamdan kaynaklanabilecek genetik farklılıklarının analizi (Yüksek Lisans Tezi). Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde
- Ölmez (Bayhan), S., Ulusoy, R. ve Toros, S. (2003). Determination of Aphididae (Homoptera) fauna of Diyarbakır province of Turkey. Türk. Entomol. Derg., 27(4): 253-268.
- Ölmez Bayhan, S., Ulusoy, M.R. and Toros, S. (2003). Determination of Aphididae (Homoptera) fauna of Diyarbakir province of Turkey. Turkish Journal of Entomology, 27 (4), 253–268.
- Ölmez Bayhan, S., Ulusoy, M.R. and Bayhan, E. (2006). Aphids and their predators in Malatya Region and around Turkey. Journal of Biological Sciences, 6 (5), 954–957.
- Özay, F. Ş., (1997). Marmara Bölgesinde söğütlerde zarar yapan böcekler, ODC: 245.1:145.11:245.12:245.13. T.C Orman Bakanlığı Kavak ve Hızlı Gelişen Tür Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten No: 183, İzmit, 150s.
- Özdemir, I. (2020). Some New Records on Aphid (Hemiptera, Aphididae) Fauna of Turkey and Aphid Host Plant Interactions. Journal of the Entomological Research Society, 22(2), 191–201.
- Özdemir, I., Karakaya, A., Özdemir, M., Bayram, S. (2024). Kavaklarda Görülen Aphid (Hemiptera: Aphididae)'lerin Ülkemizdeki Durumu. I. Bilsel International Sur Scientific Researches Congress, 10-11 February, Diyarbakır, Türkiye.
- Özkazanç, O., Yücel, M. (1985). Yarı Kurak Mıntıka Ağaçlandırmalarında Zarar Yapan Böcekler Üzerine Araştırmalar. Ormancılık Arş. Enst. Yayınları Teknik Bülten Seri No: 153, 45s, Ankara.
- Parmaksız Durmaz, D. (2019). Atatürk Barajı Çevresinin Afit Faunasının Belirlenmesi. T.C. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı, Yüksek L. Tezi, 103s.

- Sekendiz, O. A. (1974). Türkiye Hayvansal Kavak Zararlıları Üzerine Araştırmalar. K.T.Ü. Orman Fakültesi Yayınları: 62/3, İstanbul, IX+194s.
- Silvestri G., Wittmayer J. M., Schipper K., Kulabako R. Oduro-Kwarteng S., Nyenje P., Komakech H. and van Raak, R. (2018). Transition management for improving the sustainability of WASH services in informal settlements in Sub Saharan Africa – an exploration. Sustainability 10 (4052), 1–19.
- Singh, S., Sharma, B., Kanwar, S. S. (2016). Kumar A. Lead phytochemicals for anticancer drug development. Front. Plant Sci. 7:1667.
- Şahbaz, A. and Uysal, M. (2006). Konya ilinde kavaklarda beslenen yaprakbitlerinin (Homoptera: Aphididae) predatör ve parazitoitleri. Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 20 (38), 119–125.
- Şenol, Ö., Akyıldırım Beğen, H., Görür, G., Demirtaş, E. (2015). New additions and invasive aphids for Turkey's aphidofauna (Hemiptera: Aphidoidea). Turk J Zoo, 39(1), 39 - 45.
- Şenol, Ö., Akyıldırım, H., Görür, G. & Demirtaş, E. (2014). New records for the aphid fauna (Hemiptera: Aphidoidea) of Turkey. Acta Zoologica Bulgarica, 66 (1), 133–136.
- Şimşek, Z. (2005). Kızılırmak (Çankırı)'da Sarılekeli Kavak Süslüböceği [*Melanophila picta* (Pall.) (Coleoptera: Buprestidae)]'nin biyolojisi ve mücadelesi. ZKÜ Bartın Orman Fakültesi Dergisi, Cilt:7 Sayı:8, 8-17.
- Tepecik, İ. (2010). Karabük İlinin Afit Faunasının Belirlenmesi. Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı, Yüksek lisans tezi, 146s.
- Toper Kaygın, A., Görür, G. & Çota, F. (2008). Contribution to the aphid (Homoptera: Aphididae) species damaging on woody plants in Bartın, Türkiye. International Journal of Engineering Science, 2 (1), 83–86.
- Toros, S., Uygun N., Ulusoy, R., Satar, S. and Özdemir, I. (2002). Doğu Akdeniz Bölgesi Aphidoidea Türleri (The Aphidoidea Species of East Mediterranean Region). Tarım ve Köyisleri Bak., Tarımsal Araştırmalar Genel Müd. Yay., Ankara, 108 pp.
- Toros, S., Yaşar, B., Özgökçe, M.S. ve Kasap, İ. (1996). Van ilinde Aphidoidea (Homoptera) üst familyasına bağlı türlerin saptanması üzerinde araştırmalar. Türkiye III. Entomoloji Kong. Bildirileri (24-28 Eylül, Ankara), 549-556.

- Tozlu, G. (2001). Sarıkamış (Kars)'ta titrek kavak (*Populus tremula* L.)'ta zarar yapan böcek türlerinin tespiti ve bunlardan bazı önemli türlerin biyolojisi üzerinde çalışmalar. Türkiye Entomoloji Dergisi, 25(2), 133 - 146.
- Trotter, A. (1903). Galle della Penisola Balcanica e Asia Minore. Nuovo Giornale Botanico Italiano, Nuova Serie, 10, 1–86.
- Tuatay, N. & Remaudière, G. (1964). Première contribution au catalogue des Aphidida (Hom.) de la Turquie. Revue de pathologie végétale et d'entomologie agricole de France, 43 (4), 243–27.
- Tuatay, N. (1999). Türkiye yaprakbitleri (Homoptera: Aphididae): V. Chaitophorinae, Lachninae ve Thelaxinae. Bit. Kor. Bült., 39(1-2): 1-21.
- Tuatay, N., Gül, S., Demirtola, A., Kalkandelen, N. and Aysev, N. (1967). Nebat Koruma Müzesi Böcek Kataloğu (1961-1966). T.C. Tarım Bakanlığı Zirai Mücadele ve Zirai Karantina Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 66 pp.
- Tuatay, N., Kalkandelen, A. and Aysev, N. (1972) Nebat Koruma Müzesi Böcek Kataloğu (1961–1971). T.C. Tarım Bakanlığı Zirai Mücadele ve Zirai Karantina Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 119 pp.
- Uğur, A., Şahin, Ö., Bekyürek, Y. (2006). Ankara ye Kayseri illerinde kavak zararlıları ile popülasyon yoğunluklarının tespiti ve Paranthrene tabaniformis'in biyolojisi üzerinde araştırmalar. Turkish Scientific Research Council Proj. Rep., Ankara 148p.
- Uysal, M, Şahbaz, A, Özdemir, I. (2006). Konya ilinde kavaklarda beslenen yaprakbiti (Homoptera: Aphididae) türleri. Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi (Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi), 20 (38), 143 - 149.
- Ünal, S. and Özcan, E. (2005). Kastamonu yöresi Aphididae (Homoptera) türleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 6 (1), 76–83.
- Ünal, S., Selek, F., Yaman, M. (2016). Kastamonu Yöresi Kavak Zararlıları. Kastamonu Üni., Orman Fakültesi Dergisi, 16 (2):607-615.
- Velioglu, E., Bostancı, Y. S., ve Akgül, S. (2020). Poplars, Willows, and Other Fast-Growing Trees in Turkey: Country Progress Report for the International Poplar Commission, Time Period: 2016 – 2019, Poplar and Fast-Growing Forest Trees Research Institute, İzmit / Turkey.

- Yıldız, Y. and Toper Kaygın, A. (2010). Mordwilkoja vagabunda (Walsh, 1863) a new record for Turkey Aphid (Hemiptera, Aphididae: Pemphigini) Fauna. *Journal of Entomological Research Society*, 12(2): 97-102.
- Yıldız, Y. (2015). The New Contributions to Poplar Pests of Bartın. *Kastamonu Univ., Journal of Forestry Faculty*, 16 (1): 19-26.
- Yüksel, B., and Öztürk, N. (2023). Kastamonu ve Düzce İllerinde Yeni Bir Zararlı *Phloeomyzus passerinii* (Signoret, 1875) (Hemiptera: Aphididae). *Düzce Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 11(1), 249-257.
- Singh V., Daniel S., Ramchandra, Preeti, Y. (2016). Effect of leaf litter fall on baby corn inter crop under poplar-based agroforestry system, *International Journal of Farm Sciences* 6 (4): 163-166.
- Asadi F., Calagari, M., Ghasemi, R. and Bagheri, R. (2012). Final results of intercropping of poplar and alfalfa in Karaj. *Iranian Journal of Forest*, Vol.4, No.1, 33-44.
- Silvestri, N., Giannini, V., and Antichi, D. (2018). Intercropping cover crops with a poplar short rotation coppice: Effects on nutrient uptake and biomass production. *Italian Journal of Agronomy*, 13(2), 126–133. <https://doi.org/10.4081/ija.2018.934>.

BÖLÜM 12
TURUNÇGİL BAKTERİYEL YEŞİLLENME HASTALIĞI

Prof. Dr. Hüseyin BASIM¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13767905>

¹ Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Antalya, Türkiye, hbasim@akdeniz.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-8059-3680

GİRİŞ

Narenciye, dünyada en yaygın olarak yetiştirilen özel bir meyve türüdür. Genetik çeşitliliğinin fazla olmaması nedeniyle çeşitli fungal, bakteri ve viral hastalıklara karşı oldukça hassastır (Wu ve ark., 2014). Huanglongbing (HLB), diğer adıyla narenciye yeşillenme hastalığı, son 20-30 yıldır küresel narenciye endüstrisini etkileyen en yıkıcı hastalıklardan biridir (Bove, 2006; Gotwald, 2010). Hastalık ilk olarak güney Çin'de rapor edilmiştir (Reinking, 1919). Hindistan'da HLB 'nin keşfi, 1700'lerde turuncgillere oldukça zarar verdiği rapor edilmiş (Husain ve Nath, 1927; Capoor, 1963) ve bu da hastalığın Çin'e yayılmadan önce Hindistan'da ortaya çıktığı bildirilmektedir (Gotwald, 2010; Beattie ve ark., 2006). Benzer bir hastalık 1929 yılında Güney Afrika'da da gözlenmiş ve etkilenen meyvelerdeki renk gelişiminin zayıf olmasından dolayı "narenciye yeşillenme hastalığı" olarak adlandırılmıştır (Merwe ve Anderssen, 1937). Hastalık aynı zamanda Güney Amerika'da, 2004 yılında Brezilya'nın Sao Paulo eyaletinde (Coletta-Filho ve ark., 2004) ve ABD'nin Florida eyaletinde de doğrulanmıştır (Halbert, 2005). Bu durum, yılda yaklaşık 3,6 milyar ABD doları tutarında bir kayıpla ABD narenciye endüstrisini ciddi şekilde etkilemiştir (Molki ve ark., 2020). Hastalık aynı zamanda Küba (Luis ve ark. 2009), Jamaika (Oberheim ve ark., 2011), Belize (Manjunath ve ark., 2010) ve Meksika (Trujillo-Arriaga ve ark., 2010) gibi birçok Karayip ülkesinde de yerleşik hale gelmiştir. Akdeniz Havzası ve Avustralya'nın diğer önemli narenciye yetiştirilen bölgeleri tehdit altındadır. Hastalık aynı zamanda Pakistan'dan batıya, İran'a (Faghihi ve ark., 2009), son olarak Ağustos 2023'te hastalık etmeninin vektörü, *Diaphorina citri* ('*Candidatus Liberibacter asiaticus*' vektörü-Hemiptera: Psyllidae, EPPO A1 Listesi) Kıbrıs'ta Limasol Bölgesi'nde, Asómatos'ta rapor edilmiştir (URL-1, 2023). Daha ileri araştırmalar yapıldı ve adanın güney kıyı kesimindeki (Limasol, Larnaka, Baf ve Ammochostos bölgeleri) narenciye bahçelerinde psillid tespit edildi.

Lefkoşa bölgesinde ve turunçgillerin yetiştirildiği Kıbrıs'ın kuzey kesiminde ise *D. citri*'ye rastlanmamıştır. Tüm numuneler, EPPO Tanı Protokolü PM 7/121 uyarınca huanglongbing'e neden olan Liberibakter türleri açısından test edilmiş ve sonuçların negatif olduğu tespit edilmiştir (URL-1, 2023). Bu durum Türkiye ve komşu ülkelerin turunçgil üretimini tehdit etmektedir. Şu anda hastalık Asya, Amerika, Afrika, Okyanusya ve Karayipler'deki 58'den fazla ülkede bulunmaktadır.

Liberibacter', Dünyanın farklı ülkelerinde ve iklimlerinde, öncelikle 16S rDNA ve diğer gen dizilerine göre HLB'nin sebebi olarak 3 farklı *Ca. Liberibacter* tanımlanmıştır. Bunlar; '*Ca. L. asiaticus*' (Manjunath ve ark., 2010), '*Ca. L. africanus*' (Manjunath ve ark., 2010) ve '*Ca. L. americanus*' (Husain ve Nath, 1927; Leite ve ark., 2013) dir. *L. africanus*'un yakından ilişkili olduğuna ilişkin bir alt türü olduğu bildirilmektedir. Bu alt rür, '*Ca. L. africanus subsp. capensis*' (Halbert, 2005) dir,

Liberibakterler, psillid vektörleri aracılığıyla doğrudan canlı floem hücrelerine aktarılır. Liberibakter içermeyen psillidler, Huanglongbing (HLB) içermeyen narenciye bahçelerinde ise psillidin neden olduğu doğrudan zararlar ortaya çıkmaktadır. Narenciye alanlarına vektör girişi olmadığı durumda hastalık ancak enfekte olmuş ve asimptomatik üretim materyallerinin enfekte olmamış bir bölgeye dikilmesiyle aktarılabilir. HLB belirtilerinin fark edilebilir hale gelebilmesi için gereken uzun inkübasyon süresi, simptomatolojik incelemelerde hastalık etmeninin girişlerinin zamanında tespit edilmesini engelleyebilir.

Global tarımsal ürünlerin ticaretinin artması birçok patojen ve vektörlerinin kıtalar arası yayılmasını kolaylaştırmaktadır. Patojenlerin ve vektörlerin kıtalararası dağılımı, yatay gen transferini önemli ölçüde artırır ve bir türün patojenik varyantları arasında ve hatta cinsler arasında rekombinasyon oranının artmasına sebep olabilir. Yatay gen transferi, bakteriyel hücrelerin birbiriyle sıkı teması ile gerçekleşen konjugasyon

yoluyla ya da böcek vektörü ya da konukçu bitki içinde bakteriyofaj-bakteriyel hücre arasında gerçekleşen transdüksiyon yoluyla olabilir.

1. HLB HASTALIĞI

"Narenciye yeşillenmesi" olarak da bilinen HLB hastalığına *Candidatus Liberibacter* cinsindeki floemle sınırlı alfa-proteobakteriler neden olur. Turunçgillerde HLB'ye neden olan üç tür tanımlanmıştır. Bunlar; *Ca. L. asiaticus* (*Las*), *Ca. L. africanus* (*Laf*) ve *Ca. L. americanus* (*Lam*) dır. Bu türlerin herbirinin adını yansıtabilecek şekilde farklı kıtalarda bağımsız olarak evrimleştiği görülmektedir (Beattie ve ark., 2005; Nelson ve ark., 2013). HLB hastalığı dünya’ da turunçgillerin en önemli bakteriyel hastalığıdır. HLB, Asya, Orta Doğu, Afrika ve Amerika'da bulunur. Hastalık etmeni, psillid vektörleri *Diaphorina citri* ve *Trioza erytreae* ile yayılır.

HLB'nin "sarı sürgün" hastalığı olarak ortaya çıkışına ilişkin raporlar Güneybatı Asya'da, Çin'den Pakistan'a kadar 1919' a, Afrika'da 1928' e ve Amerika kıtasında 2004 yılına kadar uzanmaktadır. HLB ilk olarak Güney Afrika'da Greening, Filipinler'de Mottle Leaf, Hindistan'da Dieback ve Endonezya'da Ven Floem Dejenerasyonu olarak adlandırılmış olup, Amerika'da buna en yaygın olarak HLB veya narenciye yeşillenme adı verilmiştir (Bové, 2006; Da Graça, 1991).

HLB'nin en karakteristik semptomu, yapraklar üzerinde asimetrik, lekeli beneklerin ortaya çıkmasıdır. Spesifik Liberibakterlerin saptanmasına olanak tanıyan DNA bazlı tanı testlerinin geliştirilmesinden önce, HLB'nin varlığı esas olarak iki testle doğrulanmıştır. Bunlar; ince tabaka kromatografisi testi (Schwarz ve van Vuuren, 1970) ve semptomatik örneklerden nişasta testidir (Su, 2008). Ancak her iki yöntem de tanıda rutin olarak kullanılabilecek yeterli değildir. Floem hücrelerinde bakterilerin varlığını belirlemek için transmisyon elektron mikroskobu (TEM) kullanılmasına rağmen, zaman alıcı ve zahmetlidir. Ayrıca, TEM bakterileri tür düzeyinde ayırt edemez.

HLB'ye benzeyen semptomların ortaya çıkışı, psillidlerin üretim alanlarında bulunması ve psillid beslenmesi ile ilişkili olduğu düşünülmüştür. 1960'lı yıllara kadar Güney Afrika'daki *T. erythrae*'nin (McClellan ve Oberholzer, 1965) ve Hindistan'daki *D. citri*'nin (Capoor ve ark., 1967) hastalık etmenini taşıdığı kanıtlanamamıştır. 1970 yılında floem iletim demetlerinde bakteri hücreleri tespit edilmiştir (Laflièche ve Bové, 1970), Gram-negatif bakteriler olarak karakterize edilmiş (Garnier ve ark., 1984) ve daha sonra bir alfa proteobakteri türü olduğu belirlenmiştir (Jagoueix ve ark., 1994). Daha sonra iki tür ortaya çıkarılmıştır: Asya'da ortaya çıkan hastalık için *Las* ve Afrika'da ortaya çıkan hastalık için ise *Laf* belirlenmiştir. HLB Amerika'da ilk kez 2004 yılında görüldüğünde (Brezilya'nın São Paulo Eyaletinde), hem *Las* hem de yeni bir tür olan *Lam* hastalık sebepleri olarak önerilmiştir (Teixeira ve ark., 2005b).

Koch postülatları herhangi bir Liberibakter için henüz tamamlanamamıştır. Patojenik Liberibakterlerin hiçbiri kültüre alınamamıştır. Bunun nedeni besi kültür ortamlarında çoğalabilmelerini sağlayan belirli özel genleri kaybetmiş olmalarına dayandırılmaktadır (Jain ve ark., 2017b). *Liberibacter crescens*'in (*Lcr*) mevcut tek izolatu, Porto Riko'daki hastalıklı dağ papayasından izole edildikten sonra besi kültür ortamında geliştirilebilmiştir (Leonard ve ark., 2012; Fagen ve ark., 2014), ancak papayaya veya başka herhangi bir bitkiye inokülasyonu sağlanamamıştır. Bu sebeple, *Lcr* saprofitik olarak değerlendirilmiştir.

Hastalık Belirtileri

Turunçgillerde *Las* floemde çoğalır ve yaprak klorozuna, verimlilik kaybına ve birkaç yıl sonra ağaçların tamamen ölümüne neden olmaktadır. Buna karşılık, *Las* vektör psyllid konukçusunda sistemik ve dolaşımli olarak bulunmaktadır. Bakteri orta bağırsak dokusunda ve bağırsağın dışında birikir ancak bağırsakta hastalık semptomlarına neden olmaz (Ghanim ve ark. 2016).

Turunçgil yeşillenme hastalığının sahada teşhisi için kullanılan belirtiler, yapraklarda lekeli beneklenmeler ve yaprak eksenini boyunca yeşilden sarıya kadar değişen asimmetrik kloroz şeklinde olan belirtilerdir. Yaprakların benzer ama simetrik sararması çinko eksikliğinin belirtilerine çok benzemektedir. Bu yakın benzerlik, daha önce HLB'nin bilinmediği bölgelerde bulunan ağaçlardaki belirtilerin değerlendirilmesinde karışıklığa sebep olabilir.

Bir narenciye bahçesinde HLB tespit edildikten sonraki bir ila birkaç yıl içinde, ağaçların neredeyse %100'ü tipik olarak enfekte olur ve çoğu zaman belirgin belirtiler görülmez. Belirtilerin şiddeti bitkinin enfekte olduğu zamanla ilişkilidir. Bir bitki enfekte edildikten sonra, herhangi bir belirtiler ortaya çıkmadan önce oldukça uzun (genellikle 6 aydan kısa olmayan) bir inkübasyon süresine ihtiyaç duymaktadır (Lee ve ark., 2015). İlk belirtiler, soluk veya hafif yaprak beneklenmesi şeklinde olup yavaş yavaş daha karakteristik yaprak beneklenme belirtilerine dönüşür. Belirtiler genellikle sonbahar ve kış mevsimlerinde daha hızlı ilerler. Yaprak kıvrılması, yaprak boyutunun küçülmesi ve orta damarların kalınlaşması veya mantarimsi damarların ortaya çıkması gibi belirtiler sıklıkla görülen ek belirtilerdir.

Bazen meyvenin sap kısmından başlayarak sararma ve stilus ucunun yeşil kalmasıyla birlikte meyve renginin tersine dönmesi ile sonuçlanabilir (bu belirtiler halk arasında "yeşillenme" adının ortaya çıkmasına neden olmuştur). Meyvelerin sap kısmında renk değişimi olmasa bile sarıdan turuncuya değişen bir absiyon bölgesi görülmektedir (Bové, 2006). Yaprak ve meyve dökülmesi hastalığın önemli belirtileri olup enfeksiyonlu bahçelerde eğer kuraklık koşulları devam ediyorsa yüksek düzeyde erken meyve dökülmesi ortaya çıkabilir.

Hastalık, bitki kök sisteminde bulunan tüysü köklerin sayısının ciddi şekilde azalmasına ve *Phytophthora*'ya karşı duyarlılığın artmasına

sebeplendirilebilir (Graham ve ark., 2013). Zamanla belirtilerin şiddetinin artmasıyla dallar ölür ve sağlıklı ağaçların sayısı azalır.

1.2. Etiyoloji ve tanısı

Liberibakterler ilk olarak elektron mikroskopu (TEM) kullanılarak HLB ile enfekteli turuncgillerden tespit edilmiştir (Lafleche ve Bové, 1970). 1990'lara kadar TEM' in kullanımı, floemde bulunan bakterilerin HLB olup olmadığının ortaya çıkarılmasında kanıtlamanın en önemli yöntemi idi. Ribozomal protein ve 16S rDNA genlerinin karakterizasyonunu içeren moleküler tekniklerin ilerlemesiyle, PCR bazlı tanı yöntemleri kullanılarak HLB etiyojisi belirlenebilmiştir. Hastalık sebebi olan bakterilere Ca adı verilmiştir. *Liberibacter* spp.; "Candidatus" bakterinin kültür besisi ortamında gelişmemesini, "Liberibacter" ise içinde buldukları serbest veya elek elementlerini ifade etmektedir (Jagoueix ve ark., 1994). Enfekte olmuş dokulardan monoklonal antikorlar üretebilme girişimleri, büyük ölçüde kültür besisi ortamlarında *Las*'ın geliştirilememesi nedeniyle *Las*'a özgü evrensel antikorlar elde edilememiştir. Bununla birlikte, günümüzde kapsamlı genom dizilimi olanakları, antijen ve faydalı antikorların üretilmesini sağlayabilir (Ding ve ark., 2017).

PCR, hem bitkide hem de psyllid numunelerinden *Liberibacter* tespiti ve tanımlanması için faydalıdır (Jagoueix ve ark., 1996; Hocquellet ve ark., 1999; Teixeira ve ark., 2005a, 2008; Li ve ark., 2006; Roberts ve Pietersen, 2017). Kullanılan PCR tekniklerinde ve primerlerde birçok varyasyon vardır. En yaygın olanı 16S ve ribozomal protein genlerinin tespitine dayanmaktadır. Gerçek zamanlı PCR, yaygın kullanıma sahiptir. Ölü *Liberibacter* hücrelerinden gelen DNA floem hücrelerinde kaldığı için PCR ve qPCR, kimyasal mücadele etkilerini değerlendirmede çok az etkilidir (Trivedi ve ark., 2009). Turuncgillerin küçük ince kökleri ve gelişen tohumların tohum kabukları, *Liberibacter* hücre sayısının en yüksek olduğu bitki dokularıdır (Achor ve ark., 2014). qPCR, bitkilerden ve psillidlerden *Las* ve *Lam* sayılarını belirlemede

başarılı olmuştur. Psillidlerdeki tahmini ortalama en yüksek bakteri sayısı *Las* için $6,3 \times 10^8$ ve *Lam* için $5,6 \times 10^4$ olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, 1 g tatlı portakal ve turuncu yasemin yaprağı dokusundaki bakteri sayısı *Las* için sırasıyla 4×10^7 ve 1×10^3 ve *Lam* için $3,2 \times 10^6$ ve 2×10^4 olarak tespit edilmiştir (Duan ve ark., 2009; Lopes ve ark., 2010; Teixeira ve ark., 2008).

Floresan in situ hibridizasyon (FISH) kullanılarak, *Las*'ın *D. citri* 'nin orta bağırsağını, Malpighian tübüllerini, hemolimfini, tükürük bezlerini, yumurtalıklarını, kas ve yağ dokularında kolonize olabildiği ortaya çıkarılmıştır (Ammar ve ark., 2011). Döngü aracılı izotermal amplifikasyon (LAMP) bazlı tanı testleri, ekipman maliyetinin azalması avantajına sahiptir, ancak göreceli spesifiklik eksikliği ve tek hedef tansı önemli eksiklidir (Okuda ve ark., 2005; Li ve ark. 2007). Geleneksel PCR, sınırlı numune testleri için hala çok faydalı olabilir, çoklu patojen tespitini sağlayabilir ve qPCR'ye göre daha az hassas olmasına rağmen başlangıç maliyetlerinin düşük olması avantajına sahiptir.

Liberibacter crescens, 2012 yılında bu cinsin kültür besisi ortamında geliştirilebilen ilk üyesi olarak tanımlanmıştır. *L. crescens* dışında, bilinen patojenik Liberibakterler, kısmen glioksilaz yolunun kaybı ve konukçu faktörler tarafından baskılanan fajın varlığı nedeniyle bugüne kadar aksenik olarak kültüre alınamamıştır (Jain ve ark., 2017a,b; Merfa ve ark., 2019).

Afrika'da alt tür veya haplotip düzeyindeki *Laf* çeşitliliği dikkat çekicidir. Citrus'ta, *LafCl* ex narenciye adı verilen karakteristik tek nükleotid polimorfizmlerine (SNP'ler) ve geniş bir konukçu aralığına sahip *LafCl* strainleri tanımlanmıştır. *Las* tanımlaması için yaygın olarak kullanılan 16S PCR primerlerinin (Li ve ark., 2006), qPCR testiyle turunçgillerden *LafCl* 'nin yanlış tanımlaması ve *LafCl*, *LafV* ve *LafZ* 'nin de *Las* veya *Laf* olarak yanlış tanımlanması önemli bir sorun oluşturmaktadır. Bu alt türleri ayırt etmek için ek primer setlerine ihtiyaç vardır. Liberibakterlerin asıl konukçularının dışındaki bitki ve böcek

konukçularından ilk kez tespit edilmesinde dikkatli olunmalıdır (Roberts ve ark., 2017).

1.3. Patojen biyolojisi

Turunçgillerde patojen bakterinin floemde bulunması, psyllid vektörlerinde sistemik taşınması ve kültüre alınamama eksikliği *Las*, *Lam* ve *Laf*'ın küsküt kullanılarak cezayir menekşesine inokule edilmesinden sonra, patojenik bakterilerin beklendiği gibi floem ile sınırlı kaldığı tespit edilmiştir. TEM *Ca*'yı karakterizasyonu için kullanılmış ve üç katmanlı hücre duvarı yapısının görselleştirilmesiyle bakterilerin Gram negatif Liberibakterler olduğu tespit edilmiştir (Garnier ve ark., 1984). Cezayir menekşeleri, Liberibakter izolatlarının turunçgillerden daha küçük bir alanda muhafaza edilmesine ve ısı toleransı (*Las*, *Lam* ve *Laf* tan olağanüstü derecede daha fazla ısıya toleranslıdır) (Bové ve ark., 1974; Lopes ve ark., 2009b), antikör üretimi (Garnier ve Bové, 1993; Ke ve ark., 1993) ve ilk *Las* faj parçacıklarının tanımı (Zhang ve diğerleri, 2011) gibi karşılaştırmalı tür karakterizasyonlarına olanak sağlamıştır.

Cezayir menekşesi, *Lam*'ın genom dizilimi çalışması için gerekli yüksek miktarda *Lam* DNA' sının elde edilmesi için kullanılmıştır (Wulff ve ark., 2014). Bununla birlikte, *Diaphorina citri* ve *T. erytrae*'nin konukçu aralığı turunçgillerle sınırlı olduğundan cezayir menekşelerinden turunçgillere aktarım gerçekleştirilememektedir.

CA. Liberibacter spp. enfekte bitki konukçularının elek tüplerinde çoğalır ve hücre çeperlerinde çok sayıda bakteri hücreleri bulunmasına rağmen bitki hücre duvarlarının yapısını bozamaz. Çünkü Liberibakter genomunda hücre duvarı parçalayıcı herhangi bir enzime ait gen dizisi açıklanmamıştır. Konukçu bitki, bakterinin vasküler sistemde kolonizasyonuna karşı kalloz birikimini artırarak tepki gösterir.

Las, enfeksiyona karşı turunçgil dayanıklılık reaksiyonlarını aktif olarak baskılayarak, HLB simptomlarının, psillid vektörünün ilk girişini

takiben (birkaç aydan yıllara kadar uzanan bir süre) neden bu kadar uzun bir inkübasyon süresine sahip olduğunu açıklamaktadır. Turunçgil bitkisinin savunma reaksiyonları, özellikle reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimi ve apoptozun önlenmesi, faj tarafından kodlanan peroksidaz (Jain ve ark., 2015) ve kromozomal olarak kodlanan peroksiredoksinin (Jain ve ark., 2018, 2019 doğrudan konukçu floem sitoplazmasına salgılanması ve bunun sonucunda: (a) konukçu tarafından üretilen H_2O_2 'nin doğrudan detoksifikasyonu, (b) floem hücre zarında lipid peroksidasyonun sınırlı yıkıcı reaksiyonunun oluşması ve (c) patojenin bitkide ilk kolonizasyonundan sonra konukçu bitkide H_2O_2 'nin sistemik yayılması minimize edilerek baskılanır.

Las peroksiredoksin, konukçu semptomlarını baskılama işlevi gören ve tüm patojenik Liberibakter türlerinde (hatta fajsız türlerde bile) salgılanan efektörü temsil edebilir.

Turunçgillerde *Las* ve *Lam* çoğalmasının ve semptom oluşumunun kapsamı oldukça farklıdır. *Las*, turunçgillerde *Lam*'a göre 10 kat daha yüksek konsantrasyonlara ulaşır, ancak *Lam*, daha düşük konsantrasyona rağmen çok daha şiddetli HLB semptomlarını oluşturduğu bildirilmiştir (Lopes ve ark., 2009a). *Las*, aşılama ile %100'e yakın yüksek oranda nakledilebilirken, *Lam* aktarımı genellikle %50'den düşüktür. Psillidler ile bakterinin bitkiye doğal aktarımı, bakteri çoğalması ve sıcaklık gibi faktörlerden etkilenir. Turunçgillerdeki son titre aktarımını etkiler; *D. citri* ile *Las* narenciyeden narenciyeye kolayca aktarılırken, *Lam*, ise daha düşük oranda aktarılır. Ancak, bunun tersine, *Murraya egzotika*'daki *Lam* konsantrasyonu *Las*'inkinden daha yüksektir (Lopes ve ark., 2010). *Murraya* spp. *Lam*'ın çoğaltılması ve portakal bitkilerine aktarımı için iyi bir konukçu olup bu durum *Las* için gerçekleşmemektedir (Ghahim ve ark., 2016; Damsteegt ve ark., 2010).

1.4. Hastalık Etmeninin Genomik Yapısı ve Taksonomisi

Alfaproteobakteriler sınıfı olarak oldukça çeşitlidir ve sıklıkla ökaryotlarla ilişki kurarlar. Serbest yaşayan üyelerinin genom büyüklükleri 5 Mbp'nin üzerindedir. *Rhizobium*, *Azorhizobium*, *Bradyrhizobium* ve *Mesorhizobium* gibi *Rhizobiaceae* familyasındaki karşılıklı endosimbiyoz ortaklarının yanı sıra patojen *Agrobacterium* (*Rhizobium*) türlerini içerir. Liberibakterler, *Rhizobiaceae* familyasının diğer cinsleri ile karşılaştırıldığında oldukça küçük genoma sahiptir. İlginç bir şekilde, Liberibakterler böcek konukçularına, bitki konukçularından çok daha fazla adapte oldukları bilinmektedir. Liberibakterler, böceklerin tükürük bezleri, beslenme kanalı, orta bağırsak epiteli ve bazal membranı, Malpighi tüpleri, plazma, kas ve yağ dokuları ve bazen çok az miktarda yumurtalıklara hücreler arası ve hücre içi olarak yayılmaktadır (Ammar ve ark., 2011).

Tek bir Liberibacter türünün yalnızca iki izolatu; *L. crescens* BT-0 ve BT-1 (NC_019907.1) izolatu *in vitro* kültüre edilmiştir (Leonard ve ark., 2012). Her ikisi de Babaco dağ papayasının (*Carica şarta* × *C. pubescens*) özsuyundan izole edilmiştir ve birçok laboratuvar da yapılan çalışmalara rağmen patojenik oldukları bilinmemektedir ve bilinen bir böcek konukçusu da yoktur. *L. crescens* herhangi bir patojenik *Ca*'dan biraz daha büyük bir genom boyutuna (1,5 Mb) sahiptir. Liberibakterler (hepsi yaklaşık 1,2 Mb). *L. crescens*'in kültürlenmemiş, patojenik *Ca*'dan ayrılmış olduğu görülmektedir (Nakabachi ve ark., 2013). Tamamen dizilenen ilk Liberibakter genomu *Las* psy62 izolatu olup (Duan ve ark., 2009) günümüze kadar dokuzdan fazla *Las* genomu dizilenmiştir. *Las*'a ek olarak, *Lam* izolatu São Paulo (Wulff ve ark., 2014), *Laf* izolatu PTSAPSY (Lin ve ark., 2015) ve *Lso* izolatu CLso-ZC1 (Lin ve ark., 2011) için tam genom dizileri belirlenmiştir. Tüm kromozomlar üç ribozomal operon içerir ve genom %GC içeriği %35,4 iken *Lam* %GC içeriği ise %31,1 ile en düşüktür.

Tüm patojenik *Ca. Liberibakter*lerin GC içeriği %36 olup *L. crescens*'te bulunmayan profaj veya profaj kısımlarını içerir (Zhang ve ark., 2011). Tipik olarak *Las* izolatlarının 1-2 tam profajı vardır, ancak Japonya'dan gelen Ishi-1 gibi birkaç izolatın ise yalnızca bazı kısımları vardır (Kato ve ark., 2014). Her iki profaj da kromozoma entegre edilebilir, ancak bunlardan biri tipik olarak bir eksizyon plazmidi olarak çoğalır ve kodlanmış genlerin hücre başına kopya sayısını artırır. Yukarıda bahsedildiği gibi peroksidaz, eksizyon plazmidinde kodlanır ve bitki savunmasını işlevsel olarak baskılayabilir. Bu nedenle muhtemelen bitki enfeksiyonlarına fayda sağlayan yatay olarak edinilen bir lizojenik dönüşüm faktörüdür (Jain ve ark., 2015). Profajlardan biri bitkide litik olabilir ve hatta turuncgillerde parçacıklar oluşturabilir (Fu ve ark., 2015), ancak psillidlerde stabil bir lizojen olarak kalabilir (Zhang ve ark., 2011). *Las* faj gen ekspresyonunun baskılanması, psillid konukçularda kritik derecede önemli görünmektedir (Fleites ve ark., 2014; Jain ve ark., 2017a). Yatay olarak elde edilen birkaç gen ilavesine rağmen, kromozomal genomların karşılaştırmalı genomuğu ve metabolik yol analizleri, glikoliz ve glioksilaz, metabolik enzimler, LPS biyosentezi, sakkaroz alımı ve salgılama sistemleri dahil olmak üzere çoklu biyosentetik yolların azalmasına veya tamamen yok olmasına yönelik bir eğilim ortaya çıkarmıştır. Bugüne kadarki patojenik *Liberibakter*ler *Ca*'nın sürdürülebilir şekilde kültür besisi ortamında elde edilememesinin açıklanmasına yardımcı olan genomlardır. (Wulff ve ark., 2014; Jain ve ark., 2017b).

1.5. Epidemiyolojisi

Bir vektörün yokluğunda tüm *Ca. Liberibakter* türleri, bitki konukçularıyla sınırlı kalır. Çeşitli patojenlerle enfekte olmuş narenciye fidanları genellikle ticari narenciye yetiştirme alanlarına taşınabilmektedir. *Las* ile enfekte olmuş bir ağaç, vektörün bulunmadığı bir alana getirilirse, ilk enfeksiyon ile en ufak bir semptomun ortaya çıkması arasında uzun bir inkübasyon süresi nedeniyle hem ağaç hem de

onu enfekte eden *Las*, uzun yıllar hayatta kalabilir. HLB vektörleri aynı zamanda hastalısız bölgelerde de bulunur ve *Las* içermeyen böcek vektörlerinin turunçgil bahçelerinde genellikle HLB'nin tespitinden yıllar önce gerçekleşir. HLB'nin uzun inkübasyon döneminin tam aksine, *Las*'ın narenciyeden psillid'e ve tekrar bitkiye geçişi haftalar içinde gerçekleşir ve enfekteti psillid vektörlerinin sayısı aşırı derecede artar (Lee ve ark., 2015). *Las* salgınları tamamen asimptomatik ağaçlarda çok hızlı yayılır ve bu da erken tanıyı kritik hale getirir (Gottwald, 2010). *T. erytrae* Akdeniz havzasında bulunur, ancak bakteri bulunmamasına rağmen hastalığın var olduğu bilinmemektedir (Pérez-Otero ve ark., 2015; Siverio ve ark., 2017). Avustralya'da olduğu gibi hem HLB'nin hem de vektörlerinin bulunmaması, turunçgil kültürünün başarısı ve sürdürülebilirliği açısından büyük bir avantajdır.

Psyllid bulaşması *Las*, *Lam* ve *Laf*'ın tek doğal yayılma şeklidir, ancak narenciye üretimi sırasında yayılma lokal olarak enfekteli ağaçlardan meydana gelebilir. Enfekte olmuş fidanların tamamının yasa dışı ithalatı, hastalığı ve belki de vektörü uluslararası da dahil olmak üzere uzun mesafelere yayabilir. Yalnızca sertifikalı bölgelerden veya psillidler ve Liberibakterler içermeyen sertifikalı bitkilerden gelen üretim amaçlı narenciye malzemelerinin ithalatını kısıtlamak için sıkı karantina önlemleri uygulanmalıdır.

1. HASTALIĞIN MÜCADELESİ

HLB'nin mücadelesinde karantina düzenlemeleri, düzenli fidanlık denetimlerinin uygulanması ve böceklere dayanıklı fidanlıklarda tomurcuk ağacı üretimi başta olmak üzere önleyici ve azaltıcı tedbirlerin alınması gerekmektedir. Turunçgil üretim alanlarında insektisitlerin kullanımı, psillidlerin izlenmesi (Miranda ve ark., 2017) ve mücadelesi (Miranda ve ark., 2016), meyve bahçelerinde HLB enfeksiyonunun yayılmasını önlemek için önemlidir (Bassanezi ve ark., 2013). Hastalığın yayılmasını azaltmak için, enfekte ağaçların araştırılması ve semptomlu ağaçların eradikasyonu gerekmektedir. Bu üç strateji Güney Afrika,

Brezilya ve Kosta Rika'da kullanılmış (Bové, 2012; Aubert, 1990) ve bölgesel bir yönetim stratejisi olarak etkili olduğu kanıtlanmıştır (Bassanezi ve ark., 2013).

2. SONUÇ

Turunçgil üretimini tehdit eden HLB enfeksiyonlarını etkili bir şekilde engellenmesi amacıyla bazı hususları özenle dikkate almak büyük önem taşımaktadır. Bu önlemler; DNA bazlı moleküler teknikler kullanılarak turunçgil üretim materyallerinin taranarak üretimde kullanılması, meristem doku kültürü tekniğini kullanarak patojenden arı sağlıklı anaç bitkilerin kullanılması, psillid istilasını önlemek veya psillid çekici guava, mango gibi bazı bitkileri bahçe etrafında belirli bir genişlikte band şeklinde dizayn edilerek narenciye bahçelerinin oluşturulması, psillidlerin kimyasal ve biyolojik mücadelesini içermektedir.

HLB hastalığına ait psillid vektörünün son olarak 2023 yılında Kıbrıs' ta tespit edilmesi ve Kıbrıs ile Türkiye arasında olan narenciye ticareti dikkate alındığında, hastalık tüm dünyada olduğu gibi Türkiye narenciye üretimi için de önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Bu sebeple, HLB hastalığının Türkiye' ye girişinin engellenmesi amacıyla karantina önlemleri başta olmak üzere diğer tüm koruyucu tedbirlerin alınması, bunun yanında narenciye bahçelerinin hastalık ve psillid vektörlerinin varlığı bakımından sürekli izlenmesi büyük önem arz etmektedir.

KAYNAKÇA

- Aubert, B. (1990). Integrated activities for the control of huanglungbin-greening and its vector *Diaphorina citri* in Asia. In: Chiang Aubert, B., Tontyaporn, S. & Buangsuwon, D. (eds.), Rehabilitation of Citrus Industry in the Asia Pacific Region. Proceedings of the Asia Pacific International Conference on Citriculture, Mai, Thailand. UNDP-FAO, Rome, p. 133–144.
- Achor, D., Davis, C.L., Brlansky, R.H., Folimonova, S.Y. (2014). Guidelines for selection of tissues for electron microscopy confirmation of *Candidatus Liberibacter* spp in Huanglongbing-affected citrus. Journal of Citrus Pathology, 1: 99.
- Ammar, E.D., Shatters Jr., R.G., Hall, D.G. (2011). Localization of *Candidatus Liberibacter asiaticus*, associated with citrus Huanglongbing disease, in its psyllid vector using fluorescence *in situ* hybridization. Journal of Phytopathology, 159: 726–734.
- Bassanezi, R.B., Montesino, L.H., Gimenes-Fernandes, N., Yamamoto, P.T., Gottwald, T.R., Amorim, L., Bergamin Fo, A.B. (2013). Efficacy of area-wide inoculum reduction and vector control on temporal progress of huanglongbing in young sweet orange plantings. Plant Disease, 97: 789–796.
- Beattie, G.A.C., Mabblerley, D.J., Holford, P., Broadbent, P., De Barro, P. (2005). Huanglongbing: its possible origins, collaborative research in Southeast Asia, and developing incursion management plans for Australia. 2nd International Citrus Canker and Huanglongbing Research Workshop, November 7-11, 2005, Orlando, Florida, p. 52.
- Beattie, G.A.C., Holford, P., Mabblerley, D.J., Haigh, A.M, Bayer, R. (2006). Aspects and insights of Australia-Asia collaborative research on huanglongbing. Proceedings of the International Workshop for the Prevention of Citrus Greening Disease in Severely Infected Areas. 6–7 December 2006, Ishigaki, Japan, p. 47–64.
- Bové JM, Calavan EC, Capoor SP, Cortez RE, Schwarz RE (1974) Influence of temperature on symptoms of California stubborn, South African greening, Indian citrus decline and Philippines leaf mottling diseases. In: Weathers LG, Cohen M (eds), Proceedings of the Sixth Conference of the International

- Organization of Citrus Virologists, Mbabane, Swaziland, 21– 28 August 1972. Richmond: University of California, Division of Agricultural Sciences. p.12–15.
- Bové, J.M. (2006). Huanglongbing: a destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus. *Journal of Plant Pathology*, 88:7–37.
- Bové, J.M. (2012). Huanglongbing and the future of citrus in São Paulo state. *Brazilian Journal of Plant Pathology*, 94 (3): 465–467.
- Capoor, S.P. (1963). Decline of citrus in India. *Bulletin of the Proceedings of the National Institute for the Promotion of Science*, 24: 48-64.
- Capoor, S.P., Rao, D.G., Viswanath, S.M. (1967). *Diaphorina citri*: a vector of the greening disease of citrus in India. *Indian Journal of Agricultural Science*, 37: 572–576.
- Coletta-Filho, H.D., Targon, M., Takita, M.A., De Negri, J.D., Pompeu, J., Machado, M.A., do Amaral, A.M., Muller, G.W. (2004). First report of the causal agent of Huanglongbing (*Candidatus Liberibacter asiaticus*) in Brazil. *Plant Disease*, 88: 1382..
- Da Graça, J. V. (1991). Citrus greening disease. *Annual Review of Phytopathology* 29:109-136.
- Damsteegt, V.D., Postnikova, E.N., Stone, A.L., Kuhlmann, M., Wilson, C., Sechler, A., Schaad, N.W., Brlansky, R.H., Scheneider, W.L. (2010). *Murraya paniculata* and related species as potential hosts and inoculum reservoirs of ‘*Candidatus Liberibacter asiaticus*’, causal agent of Huanglongbing. *Plant Disease*, 94:528–533.
- Ding, F., Paul, C., Brlansky, R., Hartung, J.S. (2017). Immune tissue print and immune capture-PCR for diagnosis and detection of *Candidatus Liberibacter Asiaticus*. *Scientific Reports*, 7:46467.
- Duan, Y., Zhou, L., Hall, D.G., Li, W., Doddapaneni, H., Lin, H., Liu, L., Vahling, C.M., Gabriel, D.W., Williams, K.P., Dickerman, A., Sun, Y., Gottwald, T. (2009). Complete genome sequence of citrus huanglongbing bacterium, ‘*Candidatus Liberibacter asiaticus*’ obtained through metagenomics. *Molecular Plant Microbe Interactions*, 22: 1011–1020.

- Fagen, J.R., Leonard, M.T., Coyle, J.F., McCullough, C.M., Davis-Richardson, A.G., Davis, M.J., Triplett, E.W. (2014). *Liberibacter crescens* gen. nov., sp. nov., the first cultured member of the genus *Liberibacter*. International Journal of Systematic Evolution Microbiology, 64 (7): 2461–2466.
- Faghihi, M.M., Salehi, M., Bagheri, A., Izadpanah, K. (2009). First report of citrus huanglongbing disease on orange in Iran. Plant Pathology, 58: 793.
- Fleites, L.A., Jain, M., Zhang, S.J., Gabriel, D.W. (2014). “*Candidatus Liberibacter asiaticus*” prophage late genes may limit host range and culturability. Applied Environmental Microbiology, 80: 6023–6030.
- Fu, S.M., Hartung, J., Zhou, C.Y., Su, H.N., Tan, J., Li, Z.A. (2015). Ultrastructural changes and putative phage particles observed in sweet orange leaves infected with ‘*Candidatus Liberibacter asiaticus*’. Plant Disease, 99: 320–324.
- Garnier, M., Danel, N., Bové, J.M. (1984). The greening organism is a gram negative bacterium. Conference of the International Organization of Citrus Virologists. Proceedings of 9th Conference IOCV. University of California, Riverside, pp. 115–124.
- Garnier M, Bové J.M. (1993) Citrus greening disease and the greening bacterium. In: Moreno P, da Graça JV, Timmer LW (eds), Proceedings of the Twelfth Conference of the International Organization of Citrus Virologists, New Delhi, India, 23-27 November 1992. International Organization of Citrus Virologists, University of California, Riverside. p. 212– 219.
- Ghahim, M., Fattah-Hosseini, S., Levy, A., Cilia, M. (2016). Morphological abnormalities and cell death in the Asian citrus psyllid (*Diaphorina citri*) midgut associated with *Candidatus Liberibacter asiaticus*. Scientific Reports, 6: 33418-33429.
- Gottwald, T.R., (2010). Current epidemiological understanding of citrus Huanglongbing. Annual Review of Phytopathology, 48: 119–139.
- Graham, J.H., Johnson, E.G., Gottwald, T.R., Irey, M.S. (2013). Pre-symptomatic fibrous root decline in citrus trees caused by Huanglongbing and potential interaction with *Phytophthora* spp. Plant Disease 97: 1195–1199.

- Halbert, S.E. (2005). The discovery of huanglongbing in Florida. Proceedings of the Second International Citrus Canker and Huanglongbing Research Workshop, Orlando, FL, USA, 7–11 November 2005; p. H-3.
- Hocquellet, A., Toorawa, P., Bové, J.M., Garnier, M. (1999). Detection and identification of the two “*Candidatus Liberobacter* sp.” Associated with citrus huanglongbing by PCR amplification of ribosomal protein genes of the beta operon. *Molecular Cellular Probes*, 13: 373–379.
- Husain, M.A., Nath, D. (1927). The citrus psylla (*Diaphorina citri*, Kuw.) [Psyllidae: Homoptera]. Mem. Dept. Agriculture India Entomology Series, 10:5–27.
- Jagoueix, S., Bové, J.M., Garnier, M. (1994). The phloem-limited bacterium of greening disease of citrus is a member of the α subdivision of the Proteobacteria. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 44: 379–386.
- Jagoueix, S., Bové, J.M., Garnier, M. (1996). PCR detection of the two ‘*Candidatus liberobacter*’ species associated with greening disease of citrus. *Molecular Cellular Probes*, 10: 43–50.
- Jain, M., Fleites, L.A., Gabriel, D.W. (2015). Prophage-encoded peroxidase in ‘*Candidatus Liberibacter asiaticus*’ is a secreted effector that suppresses plant defenses. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 28: 1330–1337.
- Jain, M., Fleites, L.A., Gabriel, D.W. (2017a). A small Wolbachia protein directly represses phage lytic cycle genes in “*Candidatus Liberibacter asiaticus*” within psyllids. *mSphere-ASM Journals*, 2: e00171-17.
- Jain, M., Munoz-Bodnar, A., Gabriel, D.W. (2017b). Concomitant loss of the glyoxalase system and glycolysis makes the uncultured pathogen “*Candidatus Liberibacter asiaticus*” an energy scavenger. *Applied Environmental Microbiology*, 83: e01670-17.
- Jain, M., Munoz-Bodnar, A., Gabriel, D.W. (2019). ‘*Candidatus Liberibacter asiaticus*’ peroxiredoxin (LasBCP) suppresses oxylipin-mediated defense signaling in citrus. *Journal of Plant Physiology*, 236: 61–65.
- Jain, M., Munoz-Bodnar, A., Zhang, S., Gabriel, D.W. (2018). A secreted ‘*Candidatus Liberibacter asiaticus*’ peroxiredoxin simultaneously suppresses both localized and systemic innate immune responses in planta. *Mol. Plant Microbe Interact.* 31, 1312–1322.

- Katoh, H., Miyata, S., Inoue, H., Iwanami, T. (2014). Unique features of a Japanese ‘*Candidatus Liberibacter asiaticus*’ strain revealed by whole genome sequencing. *PLoS One* 9 (9): e106109.
- Ke, C., Ke, S., Wu, R.J., Yang, H., Hsu, P.T. (1993). Purification and serology of the organism associated with citrus huanglongbing. *Proceedings of 12th Conference IOCV*. University of California, Riverside, p. 220–223.
- Lafèche, D., Bové, J.M. (1970). Structures de type mycoplasme dans les feuilles d’orangers atteints de la maladie du greening. *Comptes Rendus de l’Académie des Sciences Paris*, 270: 1915–1917.
- Lee, J.A., Halbert, S.E., Dawson, W.O., Robertson, C.J., Keesling, J.E., Singer, B.H. (2015). Asymptomatic spread of huanglongbing and implications for disease control. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. U. S. A. 11:7605–7610.
- Leite, R., Jr., Cordeiro, A.B., Meneguim, L. (2013). Primera detección de la enfermedad Huanglongbing (HLB) en asociación con la bacteria *Candidatus Liberibacter asiaticus* en Paraguay. *Proceedings of the VII Congreso Argentino de Citricultura*, Puerto Iguazu, Misiones, Argentina, 15–17 May 2013,
- Leonard, M.T., Fagen, J.R., Davis-Richardson, A.G., Davis, M.J., Triplett, E.W. (2012). Complete genome sequence of *Liberibacter crescens* BT-1. *Standard in Genomic Sciences* 7: 271–283.
- Li, W., Hartung, J.S., Levy, L. (2006). Quantitative real-time PCR for detection and identification of *Candidatus Liberibacter* species associated with citrus huanglongbing. *Journal of Microbiological Methods*, 66 (1): 104–115.
- Li, W., Hartung, J.S., Levy, L. (2007). Evaluation of DNA amplification methods for improved detection of “*Candidatus Liberibacter* species” associated with citrus huanglongbing. *Plant Disease*, 91: 51–58.
- Lin, H., Lou, B., Glynn, J.M., Doddapaneni, H., Civerolo, E.L., Chen, C., Vahling, C.M. (2011). The complete genome sequence of ‘*Candidatus Liberibacter solanacearum*’, the bacterium associated with potato zebra chip disease. *PLoS One*, 6: e19135.

- Lin, H., Pietersen, G., Han, C., Read, D.A., Lou, B., Gupta, G., Civerolo, E.L. (2015). Complete genome sequence of “*Candidatus Liberibacter africanus*,” a bacterium associated with citrus huanglongbing. *Genome Announcement*, 3: e00733-15.
- Lopes, S.A., Bertolini, E., Frare, G.F., Martins, E.C., Wulff, N.A., Teixeira, D.C., Fernandes, N.G., Cambra, M. (2009a). Graft transmission efficiencies and multiplication of “*Candidatus Liberibacter americanus*” and “*Ca. Liberibacter asiaticus*” in citrus plants. *Phytopathology*, 99: 301–306.
- Lopes, S.A., Frare, G.F., Bertolini, E., Cambra, M., Fernandes, N.G., Ayres, A.J., Marin, D.R., Bové, J.M., (2009b). Liberibacters associated with citrus huanglongbing in Brazil: ‘*Candidatus Liberibacter asiaticus*’ is heat tolerant, ‘*Ca. L. americanus*’ is heat sensitive. *Plant Disease*, 93: 257–262.
- Lopes, S.A., Frare, G.F., Camargo, L.E.A., Wulff, N.A., Teixeira, D.C., Bassanezi, R.B., Beattie, G.A.C., Ayres, A.J. (2010). Liberibacters associated with orange jasmine in Brazil: Incidence in urban áreas and relatedness to citrus liberibacters. *Plant Pathology*, 59: 1044–1053.
- Luis, M., Collazo, C., Llauger, R., Blanco, E., Pena, I., López, D., González, C., Casín, J.C., Batista, L., Kitajima, E. et al. (2009). Occurrence of citrus Huanglongbing in Cuba and association of the disease with *Candidatus Liberibacter asiaticus*. *Journal Plant Pathology*, 91: 709–712.
- Manjunath, K.L., Ramadugu, C., Majil, V.M., Williams, S., Ireya, M., Lee, R.F. (2010). First report of the citrus huanglongbing associated bacterium ‘*Candidatus Liberibacter asiaticus*’ from sweet orange, mexican lime, and asian citrus psyllid in Belize. *Plant Disease*, 9: 781.
- McClean, A.P.D., Oberholzer, P.C.J. (1965). Citrus psylla, a vector of the greening disease of sweet orange. *South African Journal of Agricultural Science*, 8: 297–298.
- Merfa, M.V., Pérez-López, E., Naranjo, E., Jain, M., Gabriel, D.W., De La Fuente, L. (2019). Progress and obstacles in culturing ‘*Candidatus Liberibacter asiaticus*’, the bacterium associated with Huanglongbing. *Phytopathology*, 109: 1092–1101.

- Merwe, A.J., Anderssen, F.G. (1937). Chromium and manganese toxicity. Is it important in Transvaal citrus greening. *Farming South Africa*, 12: 439–440.
- Miranda, M.P., Yamamoto, P.T., Garcia, R.B., Lopes, J.P.A., Lopes, J.R.S. (2016). Thiamethoxam and imidacloprid drench applications on sweet orange nursery trees disrupt the feeding and settling behavior of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae). *Pest Management Sciences*, 1–9.
- Miranda, M.P., Santos, F.L., Bassanezi, R.B., Montesino, L.H., Barbosa, J.C., Sétamou, M. (2017). Monitoring methods for *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) on citrus groves with different insecticide application programmes. *Journal Applied Entomology* 142:1–8.
- Molki, B., Call, D.R., Ha, P.T., Omsland, A., Gang, D.R., Lindemann, S.R., Killiny, N., Beyenal, H. (2020), Growth of '*Candidatus Liberibacter asiaticus*' in a host-free microbial culture is associated with microbial community composition. *Enzyme and Microbial Technology*, 142: 109691.
- Nakabachi, A., Nikoh, N., Oshima, K., Inoue, H., Ohkuma, M., Hongoh, Y., Miyagishima, S.Y., Hattori, M., Fukatsu, T. (2013). Horizontal gene acquisition of *Liberibacter* plant pathogens from a bacteriome-confined endosymbiont of their psyllid vector. *PLoS One* 8: e82612.
- Nelson, W.R., Munyaneza, J.E., McCue, K.F., Bové, J.M. (2013). The Pangean origin of *Candidatus Liberibacter* species. *Journal of Plant Pathology*, 95 (3): 455–461.
- Oberheim, A.P.; Brown, S.E.; McLaughlin, W.A. (2011). The identification and distribution of citrus greening disease in Jamaica. *Proceedings of the 2nd International Research Conference on Huanglongbing*, Orlando, FL, USA, 10–14 January 2011, p. 114.
- Okuda, M., Matsumoto, M., Tanaka, Y., Subandiyah, S., Iwanami, T. (2005). Characterization of the *tufB-secE-nusG-rplKJL-rpoB* gene cluster of the citrus greening organism and detection by loop-mediated isothermal amplification. *Plant Disease*, 89: 705–711.
- Pérez-Otero, R., Mansilla, J.P., del Estal, P. (2015). Detección de la psila africana de los cítricos, *Trioza erytrae* (Del Guercio, 1918) (Hemiptera: Psylloidea: Triozidae), en la península Ibérica. *Archivos Entomológicos* 13: 119–122.

- Reinking, O.A. (1919). Diseases of economic plants in Southern China. *Philippine Agricultural Scientist*, 8: 109–135.
- Roberts, R., Pietersen, G. (2017). A novel subspecies of *Candidatus Liberibacter africanus* found on native *Teclea gerrardii* (family: Rutaceae) from South Africa. *Antonie Van Leeuwenhoek* 110 (3): 437–444.
- Roberts, R., Cook, G., Grout, T.G., Khamis, F., Rwomushana, I., Nderitu, P.W., Seguni, Z., Materu, C.L., Steyn, C., Pietersen, G., Ekesi, S., Roux, H.F. (2017). Resolution of the identity of *Candidatus Liberibacter* species form huanglongbing-affected citrus in East Africa. *Plant Disease*, 101: 1481–1488.
- Schwarz, R.E., van Vuuren, S.P. (1970). Centrifugal extraction of phenolic markers for indexing citrus greening and avocado sun-blotch diseases. *Phytophylactica*, 2: 65–68.
- Siverio, F., Marco-Noales, E., Bertolini, E., Teresani, G.R., Peñalver, J., Mansilla, P., Aguin, O., Pérez-Otero, R., Abelleira, A., Guerra-Garcia, J.A., Hernández, E., Cambra, M., López, M.M. (2017). Survey of huanglongbing associated with *Candidatus Liberibacter* species in Spain: analyses of citrus plants and *Trioza erytrae*. *Phytopathologia Mediterranea*, 56 (1): 98–110.
- Su, H. J. (2008) Research and Health Management of Citrus Huanglongbing in Taiwan. Proceedings of the International Research Conference on huanglongbing, Orlando, Florida, p. 58–93.
- Teixeira, D.C., Danet, J.L., Eveillard, S., Martins, E.C., Jesus Jr., W.C., Yamamoto, P.T., Lopes, S.A., Bassanezi, R.B., Ayres, A.J., Saillard, C., Bové, J.M. (2005a). Citrus huanglongbing in São Paulo state, Brazil: PCR detection of the ‘*Candidatus*’ *Liberibacter* species associated with the disease. *Molecular and Cellular Probes* 19:173–179.
- Teixeira, D.C., Saillard, C., Eveillard, S., Danet, J.L., da Costa, P.I., Ayres, A.J., Bové, J. (2005b). “*Candidatus Liberibacter americanus*”, associated with citrus huanglongbing (greening disease) in Sao Paulo State, Brazil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 55: 1857–1862.
- Teixeira, D.C., Saillard, C., Couture, C., Martins, E., Wulff, N.A., Eveillard-Jagoueix, S., Yamamoto, P.T., Ayres, A.J., Bové, J.M. (2008). Distribution and quantification of *Candidatus Liberibacter americanus*, agent of huanglongbing

- disease of citrus in Sao Paulo State, Brasil, in leaves of an affected sweet orange tree as determined by PCR. *Molecular and Cellular Probes* 22: 139–150.
- Trivedi, P., Sagaram, U.S., Kim, J.-S., Brlansky, R.H., Rogers, M.E., Stelinski, L.L., Oswalt, C., Wang, N. (2009). Quantification of viable *Candidatus Liberibacter asiaticus* in hosts using quantitative PCR with the aid of ethidium monoazide (EMA). *European Journal of Plant Pathology*, 124: 553–563.
- Trujillo-Arriaga, J., Sanchez, A.H., Robles, G.P., de la Rosa, A.A., Delgadillo, V.I., Márquez, S.M. (2010). Antecedentes y situacion actual de Huanglongbing de loscitricos en Mexico. *Proceedings of the 1er Simposio Nacional Sobre Investigacion para el Manejo del Psilido Asiatico de losCitricos y el HLB en Mexico*, Monterrey, Mexico, 8–9 December 2010; p. 1–7.
- Wu, G.A., Prochnik, S., Jenkins, J., Salse, J., Hellsten, U., Murat, F., Perrier, X., Ruiz, M., Scalabrin, S., Terol, J. et al. (2014). Sequencing of diverse mandarin, pummelo and orange genomes reveals complex history of admixture during citrus domestication. *Nat. of diverse mandarin, pummelo and orange genomes reveals complex history of admixture during citrus domestication. Nature Biotechnology*, 32: 656–662.
- Wulff, N.A., Zhang, S., Setubal, J.C., Almeida, N.F., Martins, E.C., Harakava, R., Kumar, D., Rangel, L.T., Foissac, X., Bove, J., Gabriel, D.W. (2014). The complete genome sequence of *Candidatus Liberibacter americanus*, associated with citrus Huanglongbing. *Molecular Plant- Microbe Interactions*, 27:163–176.
- Zhang, S., Flores-Cruz, Z., Zhou, L., Kang, B.H., Fleites, L., Gooch, M.D., Wulff, N.A., Davis, M.J., Duan, Y., Gabriel, D.W. (2011). *Ca. Liberibacter asiaticus* carries an excision plasmid prophage and a chromosomally integrated prophage that becomes lytic in plant infections. *Molecular Plant- Microbe Interactions*, 24: 458–468.
- URL-1.<https://gd.eppo.int/media/data/reporting/rs-2023-09-en.pdf> (Access date: 31.05.2024)

BÖLÜM 13

İĞDIR İLİNDE TESPİT EDİLEN BAKTERİYEL HASTALIK ETMENLERİ

Dr. Işıl TEMEL¹

Doç. Dr. Mesude Figen YEŞİLDAĞ²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13767913>

¹ Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Iğdır, Türkiye, sudefigen@hotmail.com, Orcid ID: 0000-0002-7992-8252

² Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Iğdır, Türkiye, isil.temel@hotmail.com, Orcid ID: 0000-0001-5968-3609

GİRİŞ

Küresel bir endişe kaynağı olan bitki hastalıkları devletlerin sosyal ve siyasi istikrarı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Ristaino et al., 2021). Bitki hastalıkları tarımsal üretimde ciddi kayıplara neden olmakta, bu durum yalnızca verimin düşmesine değil aynı zamanda tür çeşitliliğinin azalmasına, hastalıkları kontrol önlemleri nedeniyle üretim ve kontrol maliyetlerinin artmasına ve bunun sonucu olarakta insan sağlığının olumsuz etkilenmesine yol açmaktadır (Fedoroff, 2015). Ayrıca çeşitli nedenlerle (iklim değişikliği, patojenin uzak mesafelere yayılması, patojen ırklarının mutasyonu vb.) artan ve salgınlar oluşturan bitki hastalıkları dünya nüfusunun gıda güvenliğini tehdit etmektedir (Anderson et al., 2004; Ristaino et al., 2021). Gıda güvenliği, tüm insanların aktif ve sağlıklı bir yaşamın gereği olan beslenme ihtiyaçları ve gıda tercihlerini karşılayabileceği yeterli, güvenli ve besleyici gıdaya fiziksel, sosyal ve ekonomik olarak erişime sahip olduğu zaman mevcuttur. Gıda güvenliği; erişim, bulunabilirlik, kullanım ve stabilite gibi dört bileşenden oluşur ve bitki hastalıkları bu bileşenleri tehdit etmektedir (FAO, 2019; Savary et al., 2019).

Bakteriyel hastalıklar tarımsal üretim üzerinde olumsuz etkiye sahip bitki hastalıklarının başında gelmektedir (Nazarov et al., 2020). Bakteriyel hastalık etmenleri bitkisel üretimin tüm aşamalarında zarara yol açmaktadır (Ignatov et al., 2015). Bu hastalık etmenlerinin zamanında tespit edilip tanınması, bitki hastalıklarının etkili bir şekilde önlenmesi ve kontrolü için oldukça önem arz etmektedir (Li et al., 2021).

Hem mikro klima özelliği hem de coğrafi konumu nedeniyle birçok sebze ve meyve çeşidinin yetiştirilmesine imkân sağlayan Iğdır, tarımsal üretim açısından Doğu Anadolu Bölgesi' ndeki iller arasında önemli bir yere sahiptir. Bu bölümde tarımsal üretimde önemli verim ve kalite kayıplarına neden olan ve Iğdır ilinde varlığı çeşitli araştırmacılar tarafından tespit edilen bakteriyel hastalık etmenleri hakkında tanıtıcı bilgilerin derlenmesi amaçlanmıştır.

1. *Pseudomonas viridiflava*

Dokuz genomtür içeren, 13 filogrup ve geniş bir konukçu aralığına sahip 60 patovardan oluşan *Pseudomonas* türleri (Berge et al., 2014; Gardan et al., 1999) çok çeşitli çevresel nişlerde yaşamlarını sürdürebilecek metabolizmaya sahip olmalarıyla her yerde bulunabilen bakterilerdir (Yamamoto et al., 2000; Sarris et al., 2010). *Pseudomonas viridiflava* bu tür kompleksi içerisinde yer almaktadır.

İlk olarak 1930'da İsviçre'de, baklalarında kırmızımsı kahverengi lezyonları olan fasulyeden izole edilen ve *Phytomonas viridiflava* olarak tanımlanan (Palleroni, 2005) etmen, Dowson (1939) tarafından *Pseudomonas viridiflava* olarak adlandırılmıştır (Billing, 1970). *P. viridiflava* hem monokotiledon hem de dikotiledon konukçuları enfekte etmekte; yabancı bitki türlerinin dışında, en az 50 farklı kültür bitkisinde de hastalığa neden olmaktadır (Lipps ve Samac, 2022). 1973 yılında Yeni Zelanda'da domates yetiştiriciliği yapılan sera ve tarlalarda görülmüş, ardından ABD (Lukezic et al., 1983-a, Lukezic et al., 1983-b), Yunanistan'da yapılan çalışmalarda (Malatrakis ve Goumas, 1987), Japonya (Kuwata ve Oikawa 1989) varlığı tespit edilmiştir. Türkiye'de ise ilk olarak Doğu Akdeniz Bölgesi'nde Aysan ve Yıldız (2000), Ege Bölgesi'nde ise Ustun ve Saygılı (2001) tarafından tespit edilmiştir. 2003 yılında Adana'da bir fidelikte yetiştirilen kavun fidelerinde (Aysan et al., 2003), Ertan ve Benlioğlu (2012) tarafından ise bezelyede hastalık oluşturduğu rapor edilmiştir. Iğdır ilinde *P. viridiflava*'nın varlığı ilk kez Dadaşoğlu (2013) tarafından biber bitkisinde tespit edilirken, Iğdır'da yetiştirilen domateslerde hastalık oluşturduğu Sunyar et al., (2021) tarafından belirlenmiş ve merkeze bağlı Kasımcan, Oba ve Melekli köylerinden yapılan izolasyon sonucunda iki strain *P. viridiflava* olarak tanımlanmıştır.

Pseudomonas viridiflava, domates bitkisinde düzensiz yaprak ve gövde lekelerinin ortaya çıkmasına, petiol ve yan sürgünleri kapsayan öz kahverengileşmesi ve boşalmasına, ayrıca alt yapraklarda solgunluk ve

kök çürüklüklerine neden olmaktadır (Jones et al., 1981; Saygılı et al., 2006). Domates meyvelerinde ise başlangıçta 2 mm çapında su emmiş lekeler şeklinde başlamakta, meyveler olgunlaştıkça lekelerin çapı büyüyerek kurumakta ve koyu kahverengi bir renk almaktadır. Zamanla lekelerin etrafı siyahımsı bir halka ile çevrenmektedir. Uygun koşullar altında lekeler birleşerek meyvenin geniş bir alanını kaplayan kabuklu nekrotik alanlara dönüşmektedir (Goumas ve Chatzaki, 1997). Domateste öz nekrozu patojeni olan *P. viridiflava* pektini parçalamak için kullanılan konukçuya özgü olmayan bir enzim olan pektat liyazı ana virülans faktörü olarak kullanmakta ve bundan dolayı çok çeşitli bitkiler üzerinde hastalık oluşturmaktadır (Lipps ve Samac, 2022). Ayrıca buz çekirdeklenme aktivitesine sahip olan *P. viridiflava*'nın konukçu bitkide don yaraları oluşturarak bitkiye girişini kolaylaştırdığı ve bu özelliği ile enfeksiyon oluşumuna katkı sağladığı bildirilmiştir (Lindow ve diğerleri, 1982; Varvaro ve Fabi, 1992). Patojenin başlıca inokulum kaynağını kontamine tohumlar ve fideler oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra kar örtüsü, sulama suyu, toprak ve bitki artıklarında dahil olmak üzere birçok çevresel kaynağında enfeksiyon için potansiyel inokulum kaynağı olabileceği bildirilmiştir (Yildiz et al., 2004; Almeida et al., 2013; Bartoli et al., 2014; Pietsch et al., 2017). *P. viridiflava*'nın epifitik popülasyonları da uygun koşullar altında hastalığa neden olabileceğinden dolayı inokulum kaynağı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca yaralanma, düşük sıcaklık, yüksek miktarda yağış ve nem etmenin enfeksiyon oluşturmalarını teşvik etmektedir (Jakob et al., 2002; Lamichhane et al., 2015).

2. *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*

Domateste bakteriyel benek hastalığı etmeni *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* (Okabe), domates yetiştiriciliğinde önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Kozik, 2002, Zaccardelli et al., 2015). Etmen ilk kez 1929 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nin Wisconsin eyaletinde, 1930 yılında Florida'da, 1933 yılında ise

Japonya’da tespit edilmiştir (Okabe, 1933). Takip eden yıllarda İsrail, İsviçre, Yeni Zelanda, Avustralya, Kanada, Yunanistan, Fransa, Çek Cumhuriyeti, Portekiz, Fas, İtalya, Şili, Bulgaristan, Brezilya ve Eski Yugoslavya’ da görülmüştür (Miller ve Jones, 2014). Ülkemizde ise ilk kez varlığı 70’li yıllarda Batı Anadolu Bölgesi’nde (Saygılı, 1975) ve Akdeniz Bölgesi’nde (Çınar, 1977) saptanmış, Doğu Anadolu Bölgesi’nde ise sofralık domateslerde bu etmenin varlığı bildirilmiştir (Şahin, 2001). Bu patojenin Iğdır ilinde varlığı Sunyar et al., (2021) tarafından yapılan izolasyonlar sonucunda tespit edilmiştir.

Hastalık etmeni uygun koşullar oluştuğunda hızlı bir şekilde yayılma özelliğine sahip olduğundan, tarlada tek bir bitkinin hasta olması tehlike teşkil etmekte (Smitley ve Mc Carter,1982; Mc Carter ve ark.,1983), domates üretiminde büyük kayıplara yol açarak ekonomik anlamda ciddi zarara sebep olmaktadır (Uppalapati et al. 2008). *P. syringae* strainleri geniş bir konukçu aralığına sahip olmasına rağmen (Jones ve diğerleri, 1981; Gitaitis ve diğerleri, 1985) *P. syringae* pv. *tomato*’nun tek spesifik konukçusu domatestir (Bradbury, 1986). Etmen bitkiye doğal açıklık ve yaralardan giriş yapmaktadır. Nispeten düşük sıcaklıklar ve yüksek nem enfeksiyon oluşması için uygun şartlardır (Agrios, 1997). Patojen bitkiye girdiğinde oldukça agresif bir tavır sergilemekte, bitkinin yaprak, çiçek, gövde ve meyve gibi tüm toprak üstü organlarını hastalandırarak ürünün pazar değerini düşürmektedir (Xin ve He 2013). Yapraklardaki belirtiler genellikle koyu kahverengi lekeler şeklinde olup etrafları sarı bir hale ile çevrilidir. Lekeler etrafında oluşan bu klorotik halenin nedeni patojenin çoğu straininin ürettiği “Coronatine” adı verilen fitotoksindir. Başlangıçta 1-3 mm çapında olan bu lekeler birleşerek yaprağın kurumasına neden olmaktadır. Çiçeklerdeki lekeler yapraklardakiler kadar belirgin değildir (Sherf ve MacNab, 1986; Turgut ve Basım, 2013). Ancak hastalık ilk çiçekleri etkilediğinde meyve tutumu etkilenmekte bu da önemli verim kayıplarına yol açmaktadır. Başlangıçta küçük olan meyve lekeleri

zamanla büyüyerek toplu iğne başı büyüklüğünde püstüller meydana getirmektedir ancak meyve etine ilerlememektedir. Oluşan bu lekelerin sayısının artması meyvenin pazar değerini de düşürmektedir (Tehabsim et al., 1987; Saygılı, 1989; Miller ve Jones., 2014). Tohumlar patojenin primer inokulum kaynağını oluşturmaktadır. Enfekteli tohumlardan gelişen fideler, tarlada önceki yıldan kalan bitki artıkları potansiyel inokulum kaynağı olarak görev yapmaktadır. Ayrıca yaprak yüzeylerinde epifitik olarak hayatta kalan *P. syringae* pv. *tomato* popülasyonları da uygun şartlar oluştuğunda enfeksiyon başlatma yeteneğindedir (Henis ve Bashan, 1986; Aysan ve Saygılı, 2008; Miller ve Jones, 2014).

3. *Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria*

Xanthomonas axonopodis pv. *vesicatoria*'nın neden olduğu bakteriyel yaprak lekesi, dünya genelinde domates üretimi için sorun oluşturan ciddi bir hastalıktır (Sundin et al., 2016; Rodriguez-R et al., 2012; Ryan et al., 2011).

Domates ve biber üzerindeki lekeler neden olan bakteri ilk olarak 1920'lerin başında Güney Afrika ve Amerika Birleşik Devletleri'nde neredeyse aynı anda görülmüş ve hastalık etmeni ilk olarak *Bacterium vesicatorium* olarak adlandırılmıştır (Gardner ve Kendrick, 1923; Momol ve ark., 2002; Roach ve diğerleri, 2018). Ancak bu isimlendirme daha sonra *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* olarak değiştirilmiştir (Dowson, 1939). Türkiye'de patojen Çanakkale ilinde yetiştirilen domateslerde, Doğu Akdeniz Bölgesi'nde biber üretimi yapılan alanlarda (EPPO, 2013), Batı Akdeniz ve Doğu Anadolu Bölgesi'nde hem domates hem de biber yetiştirilen alanlarda tespit edilmiştir (Şahin, 2001; Şahin et al., 2004). Iğdır ilinde ise Sunyar et al., (2021) tarafından merkeze bağlı köylerdeki domates yetiştirilen tarlalardan yapılan izolasyon sonucunda hastalık etmeninin varlığı tespit edilerek tanısı yapılmıştır.

Hastalık etmeni, oluşturduğu %60'ları geçen kayıplardan dolayı domatesin en önemli hastalıklarından biri olarak tanımlanmıştır (Yunis et al., 1980; Hamilton, 2001). Hızlı yayılması ve yıkıcı doğası nedeniyle, Avrupa Bitki Koruma Örgütü (EPPO) patojeni önemli bir karantina organizması olarak belirlemiştir. Bakteriyel yaprak lekeli, özellikle sıcak ve nemli iklime sahip bölgelerde etkili olmasına rağmen diğer ülkelerde de sera ve tarlalarda yetiştirilen domates ve biberleri etkilemektedir (Peshin ve Dhawan, 2009; Buttner et al., 2009).

Bitkiye yaralar, hidatod veya stomalardan giriş yapan etmen başlangıçta küçük su emmiş lekeler oluşturmakta ve bu lekeler zamanla koyu kahverengiden siyaha dönen etrafı klorotik bir hale ile çevrili nekrotik alanlara dönüşmektedir (Osdaghi et al., 2016). İlk olarak yaprakta ortaya çıkan belirtiler zamanla yaprakta deformasyonlara ve sararmaya yol açmakta, bu durum ise fotosentezi engellemektedir (Boch ve Bonas, 2010). Yeşil meyvelerde küçük su emmiş lekeler görülmekte ve bu lekelerin çapı hızla artmaktadır. Zamanla koyu kahverengi bir renk alan lekeler kabuklu bir yüzeye sahip olmaktadır. Meyveler olgunlaştıkça lekelerde krater gibi bir çöküntü oluşmaktadır (Şahin, 1997; Agrios, 2005; Shenge et al., 2007).

Patojen, kontamine domates tohumlarında uzun süre canlılığını koruyabildiğinden (Kizheva et al., 2013) etmenle bulaşık tohumlar primer inokulum kaynağını oluşturmaktadır. Yağmur, rüzgâr ve aerosoller ayrıca fidelerin tarlaya aktarımı sırasında meydana gelen yaralar hastalığın yayılmasında görev yapmaktadır Sıcak ve nemli koşullar da hastalık gelişimini teşvik etmektedir (Velásquez et al., 2018). Hasat sonrası tarlada kalan ürün artıkları ve yabancı otlar etmenin potansiyel inokulum kaynağı olarak rol oynamaktadır (Lamichhane et al., 2010; Stall et al., 2012).

4. *Erwinia amylovora*

Enterobacteriaceae familyasına bağlı gram negatif bir bakteri olan *Erwinia amylovora*, ateş yanıklığı hastalığına neden olmaktadır ve tanımlanan ilk fitopatogenik bakteridir (Vanneste 2000; Adeolu ve ark. 2016). Başta ticari öneme sahip elma, armut ve ayva gibi meyveler olmak üzere Rosaceae familyasında yer alan birçok yabancı ve süs bitkisi de dahil olmak üzere yaklaşık 180 bitki türünü etkilemektedir (Thompson 2000; Norelli ve ark. 2003; Van der Zwet ve ark. 2012; Aćimović ve ark., 2015; EPPO, 2022). EPPO A2 karantina organizmaları listesine dahil olan *Erwinia amylovora*, alıç, dağ muşmulası ve yenedünya gibi alternatif konukçuları da etkilemekte ve bu bitkiler aynı zamanda inokulum kaynağı olarak görev yapabilmektedir (Gaganidze et al., 2018).

İlk kez 1780 yılında New York'taki Hudson Nehri Vadisi'nde (Amerika Birleşik Devletleri; Denning, 1794) armut ve ayvada rapor edilen ateş yanıklığı hastalığı, dünya çapında 50'den fazla ülkeye yayılarak (EPPO, 2022) ciddi bir ekonomik sorun teşkil etmektedir. Kuzey Amerika kökenli ateş yanıklığı, 1950'lerde Büyük Britanya'da ve 1970'lerde Kuzey ve Orta Avrupa'da tanılanmıştır (Van der Zwet ve Beer 1995). Hastalık daha sonra Güney ve Doğu Avrupa'ya ve Orta Asya'ya doğru yayılmaya devam etmiştir (Djaimurzina et al., 2014; Myung et al., 2016). Türkiye'de ateş yanıklığı hastalığı ilk kez 1985'te Afyon ilinde görülmüş (Öktem ve Benlioğlu, 1988) ardından etmenin varlığı Akdeniz ve Ege Bölgeleri'nde (Öktem ve Benlioğlu, 1988; Tokgönül ve Çınar, 1991; Momol ve Zeller, 1992; Demir ve Gündoğdu, 1993) ve daha sonra Doğu Anadolu Bölgesi'nde tespit edilmiştir (Kotan, 2002). Momol ve Yeğen (1993), tarafından 1987 tarihi ve sonrasında hastalığın Türkiye'de her yörede bulunduğu ve zararın oldukça ciddi boyutlarda olduğu belirtilmiştir. Iğdır ilinde hastalığın varlığı ise Gök (2016) tarafından yapılan çalışma ile tespit edilmiştir.

Ateş yanıklığı enfeksiyonları ticari yumuşak çekirdekli meyve bahçelerinde ciddi ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Norelli et al., 2003; Duffy et al., 2005). Etmenden kaynaklı bir salgın durumunda bir üretim sezonu içerisinde yumuşak çekirdekli meyve bahçelerindeki bütün ağaçlar ölebilmektedir (Vanneste, 2000).

Etmen konukçu dokuya stoma, lentisel, çiçek nektartodları ve stigma tepeciği gibi doğal açıklıklardan giriş yapabilmekte ancak enfeksiyonların çoğu böcek, dolu gibi nedenlerle açılan yaralardan meydana gelmektedir. Aynı zamanda etmen interselüler olarak dokularda yayılmaktadır (Agrios, 2005; Baştaş ve Saygılı, 2008; Koski ve Jacobi, 2014)

Ateş yanıklığının başlıca belirtileri arasında çiçek ve dal nekrozu, yanık sürgünler ve tek taraflı kuruma yer almaktadır. Ancak en tipik belirtileri bakteriyel akıntı ve ağaçta asılı kalan kurumuş yaprak ve meyvelerdir. Hastalık belirtileri havanın nemli ve ılık olduğu dönemde ortaya çıkmakta böcekler, kuşlar, rüzgâr ve yağmurla etkili bir şekilde yayılmaktadır (Maden, 1989; Vanneste, 2000; Slack et al., 2017). Hastalık ilk olarak çiçeklerde görülmekte, enfeksiyon çiçeklerde önce sulanmış gibi bir görüntü oluşturmakta, ardından çiçekler hızla pörsüyerek, kahverengiden siyah renge dönüşmektedir ve genellikle kuruyan çiçekler ağaçta asılı kalmaktadır (Baştaş ve Saygılı, 2008). Yaprak enfeksiyonlarında başlangıçta, ana damarda, yaprak sapı ve yaprak kenarlarında kahverengimsi siyah lekeler görülmekte, enfeksiyon ilerledikçe bu lekeler tüm yaprağı kaplamaktadır. Pörsüyüp kıvrılarak kuruyan yapraklar uzun süre dalda asılı kalmaktadır (Maden, 1989; Van Der Zwet ve Beer, 1991). Genellikle elma yapraklarında kahverengi lekeler görülürken, armut yapraklarında ise siyah lekeler meydana gelmektedir (Fahy ve Persley, 1983). Meyve enfeksiyonları ise saptan başlamakta, zamanla meyveler kahverengileşerek mumyalaşmakta ve siyah bir renk almaktadır. Bu meyveler enfeksiyondan aylar sonra bile ağaçta asılı halde kalabilmektedir (Fahy ve Persley, 1983; Maden, 1989).

Nemli havalarda meyve üzerinde süt rengi ve yapışkan bir akıntı görülmekte ve hava ile temas eden akıntı kahverengileşmektedir. Hastalık etmeninin köke kadar ulaşmasıyla ağaçlar tamamen kurumaktadır (Koski ve Jacobi, 2014).

Enfeksiyon ilerledikçe *Erwinia amylovora* çiçeklerden ve/veya yeşil dokulardan odunlaşmış organlara ulaşmakta ve karakteristik belirtilerini oluşturmaktadır (Bogs et al., 1998; Thomson, 2000; Van der Zwet et al., 2012).

Bakteri bir önceki mevsim sırasında oluşan yanıklıkların kenarlarında, diğer konukçulardaki yanıklıklarda, tomurcuklarda ve belirgin şekilde sağlam görülen odun dokularında kışlamaktadır (Van Der Zwet ve Beer, 1995). Patojenin kışı geçirdiği bazı kanserli dokular inokulum kaynağı olarak görev yapmaktadır (Thomson, 2000). Hastalıklı bitki dokularında meydana gelen bakteriyel akıntı da önemli bir inokulum kaynağıdır. Hava şartları hastalığın ortaya çıkmasında ve şiddetinde önemli bir etkidir. Yüksek orandaki nem, çiğ, yağmur ve toprak nemi bitki dokularındaki nemi artırmakta ve etmenin ilerleyişini etkilemektedir (Van Der Zwet ve Beer, 1991)

5. *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*

Pseudomonas syringae pv *syringae* van Hall 1902, başta kiraz ve kayısı olmakla beraber çeşitli cinslere ait 180'den fazla bitki türünü enfekte eden geniş konukçu yelpazesıyla *Pseudomonas syringae* türünün en önemli patovarlarından biri olarak kabul edilmektedir (Agrios 2005; Bultreys ve Kaluzna 2010). *Pseudomonas syringae* patovarları, sert çekirdekli meyvelerde bakteriyel kanser, turneçgillerde dal yanıklığı, buğdayda kavuz dibi çürümesi, tütünde vahşi ateş, ve fasulye ve bezelyede yanıklık gibi önemli hastalıklara neden olmaktadır (Kaluzna et al., 2010; Dariush et al., 2012).

Hastalık etmeni ilk kez Amerika Birleşik Devletleri'nde görülmüş (Burki, 1968; Cancino et al., 1974; Dowler ve Weaver 1974; Allen ve

Dirks (1978), ardından Dorozhkin ve Grigortsevich (1976) tarafından Belarus'ta tespit edilmiştir. Roos ve Hattingh (1983) tarafından Güney Afrika'da, Tominaga (1983) tarafından Japonya'da belirlenen etmen, Ercolani ve Ghaffer (1985) tarafından Afganistan'daki kayısı ve şeftali ağaçlarından izole edilmiştir. İnan'da kayısı, şeftali, erik ve kiraz gibi sert çekirdekli meyvelerden yapılan izolasyon sonucunda 27 bakteri straini *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* olarak tanımlanmıştır (Mohammadi et al., 2001). Litvanya'da ise varlığı Vasinauskiene ve Baranauskaite (2003) tarafından bildirilmiştir. Türkiye'de ilk kez 1966 yılında Karaca tarafından rapor edilen hastalık etmeni Kotan ve Şahin (2002) tarafından Türkiye'deki bazı ticari meyve bahçelerinde belirlenmiş, sonrasında Antalya, Mersin ve Adana'da turuncgillerde (Mirik et al., 2005), Erzurum ve ilçelerindeki kayısı ağaçlarında (Görmez, 2011) tespit edilmiştir. Iğdır'da ise ilk kez Akbaba et al. (2023) tarafından kayısı bahçelerinden yapılan izolasyon sonucu tespit edilmiş ve tanımlanmıştır.

Dünya çapında meyve üretim alanlarında büyük bir endişe kaynağı olan *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* kontrol edilmesinin zorluğu ve hem genç hem de yaşlı ağaçları öldürme yeteneğine sahip olmasından dolayı önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Hinrichs-Berger, 2004). Meyve kalitesini ve miktarını düşürmekte dolayısıyla ürünün pazar değerini azaltmaktadır (Valencia-Botin ve Cisneros-Lopez, 2012).

Patojen, sert çekirdekli meyve ağaçlarının ana gövdesi, ince dalları, yaprakları, tomurcukları, çiçekleri ve meyvelerinde semptomlara neden olmaktadır. Sürgün yanıklığı ve zamklerle enfekteli dalların ölmesi ciddi enfeksiyonun sonucudur (Bultreys ve Kaluzna 2010). Son olarak, patojenin buz çekirdeklenme aktivitesi özelliği, enfeksiyona zemin hazırlayan bir faktör olarak donma hasarının önemini de arttırabilmektedir (Kennelly et al., 2007). *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* tarafından üretilen siringomisin, siklik lipodepsinonapeptid fitotoksin sınıfında yer almakta (Bender et al., 1999) ve bu toksin, konukçu dokularda nekrozu indüklemektedir (Mo et al., 1995).

Hastalık belirtileri arasında çiçek, yaprak ve meyve lezyonları, odunsu dokuda zamklanma ile ilişkili kanserler ve genel olarak meyve veriminde azalma yer almaktadır (Crosse ve Garrett, 1966). İlkbaharda tomurcuklarda başlayan hastalık zararı nedeniyle tomurcuklar açılmamakta ve üzeri reçineyle kaplanmaktadır. Tomurcuk çevresinde reçinenin sızdığı çatlaklar oluşarak genç sapların kurumasına neden olmaktadır. Sonuçta bakteri tomurcuğa girerek öldürmektedir. Büyüme mevsimi boyunca, meyve lekeleri simptomları duyarlı çeşitlerde yaygındır ve çikolata kahvesi renginde su ile ıslanmış lezyonlar olarak ortaya çıkmaktadır. Yaprak lekeleri belirtileri ara sıra görülmekte; başlangıçta su emmiş, daha sonra parlak kırmızı, yavaş yavaş kahverengiye dönüşen leke görünümü oluşmaktadır. Damarlar kırmızıya dönerek, yaprak sararmakta ve kenarlar üst yüzeye doğru bükülmektedir. Bazı durumlarda yaprakların yüzeyindeki lekeler gelişimin erken dönemlerinde klorotik halkalarla çevrelenmekte, zamanla genişlemektedir. İlerleyen dönemlerde dökülmekte ve yaprakta delikli bir görünüme neden olmaktadır. Çiçek enfeksiyonlarından başlayan kanserler yaygın bir simptomdur (Weaver, 1978; Sobiczewski ve Jones, 1997). Enfeksiyon ve hastalık gelişimi için yağış ve yüksek nem gerekli olduğundan yağışlı ve serin ilkbaharda ve yağışlı sonbaharda hızla yayılabilmektedir (Valencia-Botin ve Cisneros-Lopez 2012).

6. *Acidovorax citrulli*

Acidovorax citrulli'nin neden olduğu bakteriyel meyve lekeliği, dünya çapında kavun ve karpuz üretilen bölgelerdeki en yıkıcı hastalıklardan biridir (Burdman ve Walcott, 2012). Uygun çevre koşulları altında, özellikle yağışlı mevsimlerde ve oldukça dalgalı sıcaklık rejimlerinde, hastalık kavun üretiminde %80 ila %100 kayba neden olabilmektedir (Sales Júnior ve Menezes 2001; Conceição et al., 2014; de Melo et al., 2015).

İlk kez 1988 yılında Marina Adaları'nda tespit edilen hastalık etmeni (Wall et al., 1990), sonraki yıllarda Amerika Birleşik

Devletleri'nin birçok eyaletinde salgınlara neden olmuştur (Hopkins, 1989; Babadoost ve Pataky, 2002). Dünyanın farklı ülkelerine yayılan hastalık etmeni Brezilya (Assis et al., 1999), Gürcistan (Langston et al., 1999), Japonya (Shirakawa et al., 2000), Avustralya (Martin ve Horlock, 2002), Kosta Rika, Nikaragua (Munoz ve Monterroso, 2002), İsrail (Burdman et al., 2004), Tayland (Walcott et al., 2004), Çin (Ren et al., 2006), İran (Harighi, 2007), Tayvan (Tzeng ve Hsu., 2007), Macaristan (Palkovics et al., 2008), Yunanistan (Holeva et al., 2009) ve Kore'de (Noh et al., 2014) rapor edilmiştir. Türkiye'de ise ilk kez 1996 yılında Edirne'de ortaya çıkan etmen (Demir, 1996), 2005 yılında Çukurova Bölgesi'nde görülmüş (Mirik et al., 2006) ardından Adana, Mersin ve Antalya illerinde de tespit edilmiştir (Aysan et al., 2011). *Acidovorax citrulli*'nin Iğdır' da varlığı ise ilk kez İnik (2019) tarafından kavun üretim alanlarındaki hastalıklı meyve örneklerinden yapılan izolasyon sonucunda tespit edilmiştir.

Meyvenin pazar değerini düşüren ve ciddi ekonomik kayıplara sebep olan bakteriyel meyve lekesi, fidelerde ve özellikle kotiledonlarda, yaprakların alt yüzeyinde kolayca görülebilen su emmiş lekelerle neden olmakta ve bu su emmiş alanlar hızla klorotik haleyle çevrili nekrotik alanlara dönüşmektedir (Latin ve Hopkins, 1995). Meyvenin dış yüzeyinde ise başlangıçta su emmiş, yağlımsı, koyu zeytin yeşili lekeler şeklinde görülen hastalık belirtileri kontaminasyondan sonraki 10 gün içerisinde kahverengileşerek meyve etine doğru ilerlemekte ve çatlaklara yol açmaktadır. Enfeksiyon ilerledikçe bu çatlaklardan dışarı çıkan beyaz köpük hastalık için karakteristik bir semptom olarak görülmektedir (Hopkins, 1989; Latin ve Hopkins, 1995; Wang et al., 2007).

Etmen uygun depolama şartları altında tohumda 30 yıldan fazla canlılığını koruyabildiğinden dolayı enfekteli tohumlar hastalığın primer inokulum kaynağını oluşturmaktadır (O'Brien ve Martin 1999; Block ve Shepherd 2008). Tarlada kendiliğinden çimlenen kabakgil tohumları, kabakgiller familyasında yer alan veya almayan yabancı otlar ve

enfekteli bitki artıkları da potansiyel inokulum kaynağı olarak rol oynamaktadır (Burdman ve Walcott, 2012). Aynı zamanda hastalıkla bulaşık fidelerde önemli inokulum kaynağı olarak kabul edilmektedir (Branham et al., 2019). Bunların yanı sıra sistemik olarak hastalıklı yapraklar ve kökler bitkinin çiçekleri ve meyvesinde enfeksiyonun başlamasına neden olmaktadır (Alves et al., 2010).

KAYNAKÇA

- Aćimović, S. G., Zeng, Q., McGhee, G. C., Sundin, G. W., & Wise, J. C. (2015). Control of fire blight (*Erwinia amylovora*) on apple trees with trunk-injected plant resistance inducers and antibiotics and assessment of induction of pathogenesis-related protein genes. *Frontiers in Plant Science*, 6, 123631.
- Adeolu, M., Alnajjar, S., Naushad, S., & Gupta, R. (2016). Genome-based phylogeny and taxonomy of the “Enterobacteriales”: Proposal for Enterobacterales Ord. Nov. divided into the families Enterobacteriaceae, Erwiniaceae fam. Nov., Pectobacteriaceae fam. Nov., Yersiniaceae fam. Nov., Hafniaceae fam. Nov., Morganellaceae fam. Nov., and Budviciaceae fam. Nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 66: 5575-5599. <https://doi.org/10.1099 /ijsem.0.001485>.
- Agrios, G.N. (1997). *Plant pathology*. Fourth edition Academiz press, London.
- Agrios, G. N. (2005). Plant diseases caused by prokaryotes: bacteria and mollicutes. In *Plant Pathology*, 5th edition (pp. 615-623). Elsevier Academic Press.
- Akbaba, M., Hürkan, K., & Özcan, O. (2023). Characterization of causal agents of bacterial canker on apricot plantations and risk mapping using GIS in Aras Basin (Türkiye). *Journal of Phytopathology*, 171(10): 517-536.
- Allen, W.R. & Dirks, V.A. (1978): Bacterial canker of sweet cherry in the Niagara Peninsula of Ontario *Pseudomonas* species involved and cultivar susceptibilities. *Canadian Journal of Plant Science*. 58(2): 363-369.
- Almeida, I.M.G., Maciel, K.W., Neto, J.R. & Beriam, L.O.S. (2013) *Pseudomonas viridiflava* in imported carrot seeds. *Australasian Plant Disease Notes*, 8: 17-19.
- Alves, A.D.O., Xavier, A.D.S., Viana, I.O., Mariano, R.D.L.R. & Silveira, E.B.D. (2010). Colonization Dynamics of *Acidovorax citrulli* in Melon. *Tropical Plant Patholog*, Brasília, DF, 35(6): 368-372. <http://doi.org/10.1590/S1982-56762010000600005>
- Anderson, P. K., Cunningham, A. A., Patel, N. G., Morales, F. J., Epstein, P. R., & Daszak, P. (2004). Emerging infectious diseases of plants: pathogen pollution, climate change and agrotechnology drivers. *Trends in ecology & evolution*, 19(10), 535-544.

- Assis, S. M. P., Mariano, R. L. R., Silva-Hanlin, D. M. W., & Duarte, V. (1999). Bacterial fruit blotch caused by *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* in melon in the state of Rio Grande do Norte, Brazil.
- Aysan, Y., & Yildiz, N. (2000). Effect of plant extracts on tomato stem necrosis. IOBC/WPRS Bull., 23(1): 59-62.
- Aysan, Y., Mirik, M., Ala, A., Sahin, F., & Cinar, O. (2003). First report of *Pseudomonas viridiflava* on melon in Turkey. Plant pathology, 52(6): 800-800.
- Aysan, Y., & Saygılı, H. (2008). Domates Bakteriyel Benek Hastalığı. [ed.] H. Saygılı, F. Şahin, Y. Aysan) Bitki Bakteri Hastalıkları, Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri, İzmir, 123.
- Aysan, Y., Horuz, S., Çetinkaya-Yıldız, R., Mirik, M. & Saygılı, H., (2011). Karpuz Üretim Alanlarında *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli*' nin Yayılmasında Tohum Kökenli Bulaşmaların Önemi. Türkiye IV. Tohumculuk Kongresi, Samsun, 292-293.
- Babadoost, M., & Pataky, N. (2002). First report of bacterial fruit blotch of watermelon caused by *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* in Illinois. Plant disease, 86(4): 443-443.
- Benlioğlu, K., & Özakman, M. (1992). Yumuşak çekirdekli meyve ağaçlarında görülen ateş yanıklığı hastalığı (*Erwinia amylovora*) ve mücadelesi. Ziraî Mücadele Araştırma Enstitüsü, Ankara.
- Baştaş, K. K., & Saygılı, H. (2008). Ateş yanıklığı hastalığı, fire blight, *Erwinia amylovora*. Saygılı, H., Şahin, F., ve Aysan, Y., [Ed.] Bitki Bakteri Hastalıkları Kitabı S: 61-68.
- Bartoli, C., Berge, O., Monteil, C. L., Guilbaud, C., Balestra, G. M., Varvaro, L., Jones, C., Dangl, J.L., Baltrus, D.A., Sands, D.C., & Morris, C.E. (2014). The *Pseudomonas viridiflava* phylogroups in the *P. syringae* species complex are characterized by genetic variability and phenotypic plasticity of pathogenicity-related traits. Environmental microbiology, 16(7): 2301-2315.
- Bender, C. L., Alarcón-Chaidez, F., & Gross, D. C. (1999). *Pseudomonas syringae* phytotoxins: mode of action, regulation, and biosynthesis by peptide and polyketide synthetases. Microbiology and molecular biology reviews, 63(2): 266-292.

- Berge, O., Monteil, C. L., Bartoli, C., Chandeysson, C., Guilbaud, C., Sands, D. C., & Morris, C. E. (2014). A user's guide to a data base of the diversity of *Pseudomonas syringae* and its application to classifying strains in this phylogenetic complex. *PloS one*, 9(9): e105547.
- Billing, E. (1970). *Pseudomonas viridiflava* (Burkholder, 1930; Clara 1934). *Journal of Applied Microbiology*, 33(3), 492-500.
- Block, C.C., & Shepherd, L.M. (2008). Long-term survival and seed transmission of *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* in melon and watermelon seed. *Plant health progress*, 9(1):36.
- Boch, J., & Bonas, U. (2010). *Xanthomonas* AvrBs3 family-type III effectors: discovery and function. *Annual review of phytopathology*, 48: 419-436.
- Bogs, J., Bruchmüller, I., Erbar, C., & Geider, K. (1998). Colonization of host plants by the fire blight pathogen *Erwinia amylovora* marked with genes for bioluminescence and fluorescence. *Phytopathology*, 88(5):416-421.
- Bourke, P. A. (1964). Emergence of Potato blight, 1843-46.
- Branham, S. E., Levi, A., Katawczik, M. L., & Wechter, W. P. (2019). QTL mapping of resistance to bacterial fruit blotch in *Citrullus amarus*. *Theoretical and applied genetics*, 132, 1463-1471.
- Burki, T. (1968): Studies on *Pseudomonas* species pathogenic to fruit trees in Switzerland. *Schweizerische Landwirtschaftliche Forschung*. 7(3/4):125-265.
- Bradbury, J.F. (1986). *Guide to Plant Pathogenic Bacteria*. Slough, UK, CAB International.
- Bultreys, A., & Kaluzna, M. (2010). Bacterial cankers caused by *Pseudomonas syringae* on stone fruit species with special emphasis on the pathovars *syringae* and *morsprunorum* race 1 and race 2. *Journal of Plant Pathology*, 92: 21-33.
- Burdman, S., Kots, N., & Kriztman, G. (2004). Characterization of *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* Strains Isolated from Watermelon and Melon Fields in Israel. *Phytopathology*, 94(6):12 Supplement.
- Burdman, S. & Walcott, R., (2012). *Acidovorax citrulli*: Generating Basic and Applied Knowledge to Tackle a Global Threat to the Cucurbit Industry. *Molecular Plant Pathology*. 13(8): 805-815.

- Buttner, D. & He, S.Y. (2009). Type III Protein Secretion in Plant Pathogenic Bacteria. *Plant Physiology*, 150(4): 1656-1664.
- Cancino, L.; Latorrc, B. & Larach, W. (1974): Pear blast in Chile. *Plant Disease Reporter*.58 (6):568- 570.
- Conceição, C.S., Felix, K.C.S., Mariano, R.L.R., Medeiros, E.V. & Souza, E.B., (2014). Combined Effect of Yeast and Silicon on the Control of Bacterial Fruit Blotch in Melon. *Scientia Horticulturae*, 174, 164-170.
- Crosse, J. E., & Garrett, C. M. (1966). Bacterial canker of stone-fruits: infection experiments with *Pseudomonas mors-prunorum* and *P. syringae*. *Annals of Applied Biology*, 58(1): 31-41.
- Çınar, Ö. (1977). Doğu Akdeniz Bölgesi Domateslerinde Görülen Bakteriyel Kara Leke Hastalığı Etmeni (*Pseudomonas tomato* Okabe)'nin Biyokimyasal yöntemlerle Tanımı. Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yıllığı, 8(4): 288-296.
- Dadaşoğlu, F., 2013. Artvin Erzincan Erzurum İğdır İllerinde Bazı Meyve ve Sebzelelerde Yumuşak Çürüklüğe Sebep Olan Bakterilerin İzolasyonu Klasik ve Moleküler Yöntemler ile Karakterizasyonu. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Dariush, S., Ebadi, A. A., Khoshkdaman, M., Rabiei, B., & Elahinia, A. (2012). Characterising the genetic diversity of *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* isolated from rice and wheat in Iran. *Plant Protection Science*, 48 (4): 162-169.
- de Melo, E. A., de Lima R. Mariano, R., Laranjeira, D., dos Santos, L. A., de Omena Gusmão, L., & Barbosa de Souza, E. (2015). Efficacy of yeast in the biocontrol of bacterial fruit blotch in melon plants. *Tropical Plant Pathology*, 40: 56-64.
- Demir, G., & Gündoğdu, M. (1992, October). Fireblight of pome fruit trees in Turkey: Distribution of the disease, chemical control of blossom infections and susceptibility of some cultivars. In:VI International Workshop on Fire Blight 338:67-74.
- Denning, W. S. (1974). On the decay of apple trees. N.Y. Soc. Pom. Agr.. Arts and Mfrs Trans. 2, 219-222.

- Demir, G., (1996). A New Bacterial Disease of Watermelon in Türkiye: Bacterial Fruit Blotch of Watermelon *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* (Schaad et al. Willems et al.). Journal of Turkish Phytopathology, 25(1-2): 43-49.
- Djaimurzina, A., Umiralieva, Z., Zharmukhamedova, G., Born, Y., Bühlmann, A., & Rezzonico, F. (2013). Detection of the causative agent of fire blight-*Erwinia Amylovora* (Burrill) Winslow et al.-in the Southeast of Kazakhstan. In XIII International Workshop on Fire Blight 1056 (129-132).
- Dorozhkin, N. A., & Grigortsevich, L. N. (1976). Harmfulness of bacterial canker to fruit trees.
- Dowler, W. M., & Weaver, D. J. (1975). from Apparently Healthy Peach Trees. Phytopathology, 65, 233-236.
- Dowson, W.J. (1939) On the systematic position and generic names of the Gram-negative bacterial plant pathogens. Zentralblatt für Bakteriologie, Parasitenkunde und Infektionskrankheiten, 2(100): 177-193.
- Duffy, B., & Dandekar, A. M. (2007). Sorbitol has no role in fire blight as demonstrated using transgenic apple with constitutively altered content. In XI International Workshop on Fire Blight 793: 279-283.
- European and Mediterranean Plant Protection Organization. (2022). “Eradication of *Acidovorax citrulli* from Emilia Romagna”. <https://gd.eppo.int/reporting/article-1929>. Erişim tarihi: 17.01.2022.
- Ercolani, G.L. & Ghaffer, A. (1985): Outbreaks and new records. Afghanistan. Bacterial canker and gummosis of stone fruit. FAO-Plant-Protection-Bulletin.33(1): 37-39.
- Ertan, D. (2012). Aydın ve İzmir illeri bezelye üretim alanlarında görülen bakteriyel hastalıkların saptanması. Yüksek lisans tezi. Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın.
- Fahy, P. C., & Persley, G. J. (1983). Plant Bacterial Diseases a Diagnostic guide Academic Pres. LONDON, 110-11.
- Fedoroff, N. V. (2015). Food in a future of 10 billion. Agriculture & Food Security, 4: 1-10.
- Food and Agriculture Organization (2019). The State of Food and Agriculture: Moving Forward on Food Loss and Waste Reduction. Erişim Tarihi:11.10.2019.

- Gaganidze, D. L., Aznarashvili, M. A., Sadunishvili, T. A., Abashidze, E. O., Gureilidze, M. A., & Gvritishvili, E. S. (2018). Fire blight in Georgia. *Annals of Agrarian Science*, 16(1): 12-16.
- Gardan, L., Shafik, H., Belouin, S., Broch, R., Grimont, F. & Grimont, P.A.D. (1999). DNA relatedness among the pathovars of *Pseudomonas syringae* and description of *Pseudomonas tremae* sp. nov. and *Pseudomonas cannabina* sp. nov. (ex Sutic and Dowson 1959). *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 49: 469–478.
- Goumas, D. E., & Chatzaki, A. K. (1997). A bacterial disease of tomato fruits caused by *Pseudomonas viridiflava* in Crete. A bacterial disease of tomato fruits caused by *Pseudomonas viridiflava* in Crete., 20(4): 77-83.
- Gitaitis, R. D., Jones, J. B., Jaworski, C. A., & Phatak, S. C. (1985). Incidence and development of *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* on tomato transplants in Georgia. *Plant disease*, 69(1): 32-35.
- Gardner, M. W., & Kendrick, J. B. (1923). Bacterial spot of tomato and pepper. *Phytopathology*, 13(7):307-315.
- Gök, G. (2016). Iğdır ili elma ağaçlarında ateş yanıklığı hastalığına neden olan *Erwinia amylovora* (burr.) winslow et al. etmeninin biyokimyasal ve moleküler (mıs) yöntemlerle tanısı Master's thesis, Iğdır Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Görmez, A. (2011). Erzurum ilinde kayısı ağaçlarından izole edilen *Pseudomonas* türlerinin tanısı, karakterizasyonu ve çeşit reksiyonları. Doktora tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Hamilton, D. (2001) Bacterial speck disease, tomato -Turkey. <http://www.promedmail.org>
- Harighi, B. (2007). Bacterial leaf spot of Christ's thorn, a new disease caused by *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* in Iran. *Journal of Plant Pathology* 89(2):283-285.
- Henis, Y., & Bashan, Y. (1986). Epiphytic survival of bacterial leaf pathogens. *Microbiology of the phyllosphere*/edited by NJ Fokkema and J. van den Heuvel.

- Hinrichs-Berger, J. (2004). Epidemiology of *Pseudomonas syringae* pathovars associated with decline of plum trees in the Southwest of Germany. *J. Phytopathol.* 152:153-160.
- Holeva, M. C., Karafra, C. D., Glynos, P. E., & Alivizatos, A. S. (2010). *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* newly reported to cause bacterial fruit blotch of watermelon in Greece. *Plant Pathology*, 59(4).
- Hopkins, D.L. (1989). "Bacterial fruit blotch of watermelon: a new disease in the eastern USA". *Cucurbitaceae*, 89: 74-75.
- Ignatov, A. N., Egorova, M. S., & Khodykina, M. V. (2015). Spreading of bacterial and phytoplasma diseases in Russia. *Zashchita i karantin rastenii*, 5: 6-9.
- İnik, F., (2019). Iğdır İlinde Kavun Bitkisinde Hastalığa Neden Olan *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli*' nin İzolasyonu ve Tanısı. Yüksek Lisans Tezi, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Iğdır.
- Jakob, K., Goss, E.M., Araki, H., Van, T., Kreitman, M. & Bergelson, J. (2002). *Pseudomonas viridiflava* and *P. syringae*—natural pathogens of *Arabidopsis thaliana*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 15: 1195–1203.
- Jones, J. B., McCarter, S. M., & Gitaitis, R. D. (1981). Association of *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* with a leaf spot disease of tomato transplants in southern Georgia. *Phytopathology*, 71(12): 1281-1285.
- Kałużna, M., Puławska, J., & Sobiczewski, P. (2010). The use of PCR melting profile for typing of *Pseudomonas syringae* isolates from stone fruit trees. *European Journal of Plant Pathology*, 126: 437-443.
- Kennelly, M. M., Cazorla, F. M., de Vicente, A., Ramos, C., & Sundin, G. W. (2007). *Pseudomonas syringae* diseases of fruit trees: progress toward understanding and control. *Plant disease*, 91(1): 4-17.
- Kizheva, Y., Vancheva, T., Hristova, P., Stoyanova, M., Stojanovska, M., Moncheva, P. & Bogatzevska, N. (2013). Identification of *Xanthomonas* strains from tomato and pepper and their sensitivity to antibiotics and copper. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19 (2): 80–82.
- Koski, R. D. & Jacobi, W. R. (2014). Fire Blight. Colorado State University, Fact Sheet No 2.907, Gardening Series: Diseases, 1-6.

- Kotan, R. (2002). Doğu Anadolu Bölgesi'nde Yetiştirilen Yumuşak Çekirdekli Meyve Ağaçlarından İzole Edilen Patojenik ve Saprofitik Bakteriyel Organizmaların Klasik ve Moleküler Metotlar ile Tanısı ve Biyolojik Mücadele İmkânlarının Araştırılması. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Kotan, R., & Şahin, F. (2002). First record of bacterial canker caused by *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*, on apricot trees in Turkey. *Plant pathology*, 51(6): 798-798.
- Kozik, E.U. (2002) Studies on resistance of bacterial speck (*Pseudomonas syringae* pv. *tomato*) in tomato cv. Ontario 7710. *Plant Breed.* 121:526-530.
- Kuwata, H., & Oikawa, K. (1989). Tomato pith necrosis occurred in Aomori Prefecture (1) Isolation of *Pseudomonas corrugata* Roberts and Scarlett 1981 and *P. viridiflava* (Burkholder 1930) Dowson 1939 from diseased plants. *Annual Report of the Society of Plant Protection of North Japan*, (40): 56-58.
- Langston Jr, D. B., Walcott, R. D., Gitaitis, R. D., & Sanders Jr, F. H. (1999). First report of a fruit rot of pumpkin caused by *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* in Georgia. *Plant Disease*, 83(2): 199.
- Lamichhane, J. R., Balestra, G. M., & Varvaro, L. (2010). First report of bacterial spot caused by *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* race 2 on tomato in Nepal. *New Disease Reports*, 22(25): 2044-0588.
- Lamichhane, J. R., Messéan, A., & Morris, C. E. (2015). Insights into epidemiology and control of diseases of annual plants caused by the *Pseudomonas syringae* species complex. *Journal of general plant pathology*, 81(5), 331-350.
- Latin, R.X. & Hopkins, D.L. (1995). Bacterial Fruit Blotch of Watermelon. The Hypothetical Exam Question Becomes Reality. *Plant Disease*, 79 (8):761–765.
- Li, L., Zhang, S., & Wang, B. (2021). Plant disease detection and classification by deep learning—a review. *IEEE Access*, 9: 56683-56698.
- Lindow, S.E., Arny, D.C. & Upper, C.D. (1982) Bacterial ice nucleation: a factor in frost injury to plants. *Plant Physiology*, 70, 1084–1089.
- Lipps, S. M., & Samac, D. A. (2022). *Pseudomonas viridiflava*: An internal outsider of the *Pseudomonas syringae* species complex. *Molecular plant pathology*, 23(1): 3-15.

- Lukezic, F.L., Levine, R.G. & McNab, A.A. (1983-a). *Pseudomonas viridiflava* associated with stem necrosis on geraniums. *Phytopathology*, 85: 1040.
- Lukezic, F.L., Levine, R.G. & McNab, A.A. (1983-b). *Pseudomonas viridiflava* associated with stem necrosis of mature tomato plants. *Phytopathology*, 73: 370.
- Maden, S. (1989). Bitki Bakteri Hastalıkları, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 1161.
- Malathrakis, N. E., & Goumas, D. E. (1987). Bacterial soft rot of tomato in plastic greenhouses in Crete. *Annals of applied Biology*, 111(1): 115-123.
- Martin, H. L., & Horlock, C. M. (2002). First report of *Acidovorax avenae* subsp. *citruilli* as a pathogen of Gramma in Australia. *Plant Disease*, 86(12): 1406-1406.
- McCarter, S. M., Jones, J. B., Gitaitis, R. D., & Smitley, D. R. (1983). Survival of *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* in association with tomato seed, soil, host tissue, and epiphytic weed hosts in Georgia. *Phytopathology*, 73(10): 1393-1398.
- Miller, S. A., & Jones, J. B. (2014). Bacterial speck. (JB Jones, TA Zitter, TM Momol and SA Miller, Edition) In: *Compendium of Tomato Diseases and Pests*, Second Edition, The American Phytopathological Society, 54.
- Mirik, M., Baloglu, S., Aysan, Y., Cetinkaya-Yildiz, R., Kusek, M., & Sahin, F. (2005). First outbreak and occurrence of citrus blast disease, caused by *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*, on orange and mandarin trees in Turkey. *Plant pathology*, 54(2): 238-238.
- Mirik, M., Aysan, Y., & Sahin, F. (2006). Occurrence of bacterial fruit blotch of watermelon caused by *Acidovorax avenae* subsp. *citruilli* in the Eastern Mediterranean Region of Turkey. *Plant Disease*, 90(6): 829-829.
- Mohammadi, M.; Ghasemi, A. & Rahimian, H. (2001): Phenotypic characterization of Iranian strains of *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* Van Hall, the causal agent of bacterial canker disease of stone fruit trees. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 3(1): 51-65.
- Momol, M.T. & Zeller, W. (1992). Infections in Turkey thought to be part of an expanding epidemic originating in Egypt. *Plant Dis*, 76:1114–1116.
- Momol, M., & Yegen, O. (1992, October). Fire Blight In Turkey: 1985–1992. In VI International Workshop on Fire Blight, 338: 37-40.

- Momol, M. T., Jones, J. B., Olson, S., Obradovic, A., Balogh, B., & King, P. (2002). Integrated management of bacterial spot-on tomato in Florida. Fact Sheet PP110, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.
- Mo, Y. Y., Geibel, M., Bonsall, R. F., & Gross, D. C. (1995). Analysis of sweet cherry (*Prunus avium* L.) leaves for plant signal molecules that activate the *syrB* gene required for synthesis of the phytotoxin, syringomycin, by *Pseudomonas syringae* pv *syringae*. *Plant physiology*, 107(2): 603-612.
- Munoz, M., & Monterroso, D. (2002). Identification of *Acidovorax avenae citrulli* in watermelon seeds in Nicaragua. *Manejo Integrado de plagas y Agroecologia*, (66): 101-104.
- Myung, I. S., Lee, J. Y., Yun, M. J., Lee, Y. H., Lee, Y. K., Park, D. H., & Oh, C. S. (2016). Fire blight of apple, caused by *Erwinia amylovora*, a new disease in Korea. *Plant Disease*, 100(8): 1774-1774.
- Nazarov, P. A., Baleev, D. N., Ivanova, M. I., Sokolova, L. M., & Karakozova, M. V. (2020). Infectious plant diseases: Etiology, current status, problems and prospects in plant protection. *Acta naturae*, 12(3): 46.
- Noh, J., Kim, J. H., Lim, J. H., Kim, T. B., Seong, M. H., Jung, G. T., ... & Lee, W. H. (2014). Occurrence of diseases and case of clinical diagnosis on watermelon in South Korea, 2008-2012. *Research in Plant Disease*, 20(1): 8-14.
- Norelli, J. L., Jones, A. L., & Aldwinckle, H. S. (2003). Fire blight management in the twenty-first century: using new technologies that enhance host resistance in apple. *Plant Disease*, 87(7): 756-765.
- O'Brien, R.G. & Martin, H.L. (1999). Bacterial Blotch of Melons Caused by Strains of *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli*. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 39(54), 479-485.
- Okabe, N. (1933). Bacterial diseases of plants occurring in Formosa II.
- Osdaghi, E., Jones, J. B., Sharma, A., Goss, E. M., Abrahamian, P., Newberry, E. A., ... & Vallad, G. E. (2021). A centenary for bacterial spot of tomato and pepper. *Molecular Plant Pathology*, 22(12): 1500.

- Öktem, Y. E., & Benlioğlu, K. (1988). Yumuşak çekirdekli meyve ağalarında görülen ateş yanıklığı (*Erwinia amylovora* (Burr.) Winslow et. al.) üzerinde çalışmalar. V. Türkiye Fitopatoloji Kongresi, Ekim, 18-21.
- Palleroni, J.N. (2005). Genus I. *Pseudomonas migula* 1894, In: G.M. Garrity, D.J. Brenner, N.R. Krieg, J.R. Staley (Editors), Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, Volume Two: The Proteobacteria, Part C, Springer. pp. 325-340, Verlag.
- Palkovics, L., Petróczy, M., Kertész, B., Németh, J., Bársony, C., Mike, Z., & Hevesi, M. (2008). First report of bacterial fruit blotch of watermelon caused by *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* in Hungary. Plant Disease, 92(5): 834-834.
- Peshin, R., & Dhawan, A. K. (Eds.). (2009). Integrated pest management: volume 1: innovation-development process (Vol. 1). Springer Science & Business Media.
- Pietsch, R. B., Vinatzer, B. A., & Schmale III, D. G. (2017). Diversity and abundance of ice nucleating strains of *Pseudomonas syringae* in a freshwater lake in Virginia, USA. Frontiers in microbiology, 8: 318.
- Ren, Y. Z., Li, H. , Li, G. Y. & Wang, Q. Y. (2006). First Report of *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* Infecting Edible Seed Watermelon (*Citrullus lanatus* var. *lanatus*) in China. Plant Dis., 90:1112.
- Ristaino, J. B., Anderson, P. K., Bebber, D. P., Brauman, K. A., Cunniffe, N. J., Fedoroff, N. V., ... & Wei, Q. (2021). The persistent threat of emerging plant disease pandemics to global food security. Proceedings of the National Academy of Sciences, 118(23): e2022239118.
- Rodriguez-R, L. M., Grajales, A., Arrieta-Ortiz, M. L., Salazar, C., Restrepo, S., & Bernal, A. (2012). Genomes-based phylogeny of the genus *Xanthomonas*. BMC microbiology, 12, 1-14.
- Roach, R., Mann, R., Gambley, C. G., Shivas, R. G., & Rodoni, B. (2018). Identification of *Xanthomonas* species associated with bacterial leaf spot of tomato, capsicum and chilli crops in eastern Australia. European Journal of Plant Pathology, 150(3): 595- 608.
- Roos, I. M., & Hattingh, M. J. (1983). Bacterial canker of stone fruit in South Africa.

- Ryan, R. P., Vorhölter, F. J., Potnis, N., Jones, J. B., Van Sluys, M. A., Bogdanove, A. J., & Dow, J. M. (2011). Pathogenomics of *Xanthomonas*: understanding bacterium–plant interactions. *Nature Reviews Microbiology*, 9(5): 344-355.
- Sales Júnior, R., & Menezes, J. B. (2001). Mapeamento das doenças fúngicas, bacterianas e viróticas do cultivo do melão no Estado do RN. Mossoró. Escola Superior de Agricultura de Mossoró.
- Sarris, P. F., Skandalis, N., Kokkinidis, M., & Panopoulos, N. J. (2010). In silico analysis reveals multiple putative type VI secretion systems and effector proteins in *Pseudomonas syringae* pathovars. *Molecular plant pathology*, 11(6): 795-804.
- Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S. J., Esker, P., McRoberts, N., & Nelson, A. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature ecology & evolution*, 3(3): 430-439.
- Saygılı, H. (1975). Investigation On New Bacterial Disease of Tomatoes İn Ege. *The Journal of Turkish Phytopathology*, 4,83-88.
- Saygılı, H. (1989). “Domateste Bakteriyel Hastalıklar” In *Domateste Hastalıklar Zararlılar ve Yabancı Otlar*. SANDOM Yayını.
- Saygılı, H., Şahin, F., & Aysan, Y. (2006). *Fitobakteriyoloji. Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri*, Bornova, İzmir.
- Shenge, K. C., Stephan, D., Mabagala, R. B., Mortensen, C. N., & Wydra, K. (2008). Molecular characterization of *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* isolates from Tanzania. *Phytoparasitica*, 36: 338-351.
- Sherf, A. F., & MacNab, A. A. (1986). *Vegetable diseases and their control*. John Wiley & Sons.
- Slack, S. M., Zeng, Q., Outwater, C. A., & Sundin, G. W. (2017). Microbiological examination of *Erwinia amylovora* exopolysaccharide ooze. *Phytopathology*, 107(4):403-411.
- Smitley, D. R., & McCarter, S. M. (1982). Spread of *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* and role of epiphytic populations and environmental conditions in disease development. *Plant Disease* 66: 71 3-71 7.

- Sobiczewski, P., & Jones, A. L. (1992). Effect of exposure to freezing temperatures on necrosis in sweet cherry shoots inoculated with *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* or *P. s. morsprunorum*. *Plant Dis.* 76:447-451.
- Stall, R.E.; Loschke, D.C. & Rice, R.W. (1984). Conjugational Transfer of Copper Resistance and Avirulence to Pepper within Strains of *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*. *Phytopathology*, 74: 797.
- Stall, R.E.; Loscke, D.C. & Jones, J.B. (1986): Linkage of copper resistance and a virulence loci on a selftransmissible plasmid in *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*. *Phytopathology*, 76:240-243.
- Sundin, G. W., Castiblanco, L. F., Yuan, X., Zeng, Q., & Yang, C. H. (2016). Bacterial disease management: challenges, experience, innovation and future prospects: challenges in bacterial molecular plant pathology. *Molecular plant pathology*, 17(9): 1506-1518.
- Sunyar, B., Dönmez, M. F., & Çoruh, İ. (2021). Iğdır'da Domates (*Solanum Lycopersicon* L.)'te Hastalığa Neden Olan Bakterilerin İzolasyonu ve Tanısı. *Journal of Agriculture*, 4(2): 108-129.
- Şahin, F. (1997). Detection, identification and characterization of strains of *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* by traditional and molecular methods, and resistance in *Capsicum* species to *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* pepper race 6 (Doctoral dissertation, The Ohio State University).
- Şahin, F. (2001). Severe outbreak of bacterial speck, caused by *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*, on field-grown tomatoes in the eastern Anatolia region of Turkey. *Plant Pathology*, 50(6).
- Şahin, F., Aysan, Y., & Saygılı, H. (2004, June). First observation of pith necrosis on tomato caused by some *Pseudomonas* species in Turkey. In I International Symposium on Tomato Diseases 695: 93-96.
- Shirakawa, T., Kikuchi, S., Kato, T., Abiko, K., & Kawai, A. (2000). Occurrence of watermelon bacterial fruit blotch in Japan. *Japanese Journal of Phytopathology*, 66(3): 223-231.
- Tehabsim, A., Ruissen, M. A., & Janse, J. D. (1987). Occurrence of *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* on tomato in the Jordan Valley, Jordan. *Jordon Phytopathologia Mediterranea*, 26 (3): 183-184.

- Thompson, S. V. (2000). Epidemiology of fire blight. In J. L. Vanneste (Ed.), Fire Blight: the disease and its causative agent, *Erwinia amylovora*, 9-36. Wallingford, UK: CABI Publishing.
- Tokgönül, S. (1991). Studies on the Fireblight (*Erwinia amylovora* Burr Winslow Et Al.) on Apple, Quince and Loquat in East Mediterranean Region of Türkiye. Plant Protection Bulletin, 31(1).
- Tominaga, T.; Takanashi, K.; Nishiyama, K. & Kishi, K. (1983): Identification of the organism causing bacterial canker of Japanese apricot (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.). Annals-of-the-Phytopathological-Society-of-Japan. 49(5): 627-632.
- Turgut, A. & Basım, H. (2013). Sensitivity of Tomato (*Solanum lycopersicum*) Cultivars from Turkey to Bacterial Speck (*Pseudomonas syringae* pv. *tomato*). African Journal of Biotechnology, 12 (15): 1793-1801.
- Tzeng, K.C. & Hsu, S.T., (2007). Bacterial Diseases of Cucurbits in Taiwan. Symposium of International Workshop on the Cucurbit Diseases and Resistance Breeding, 43-48.
- Uppalapati, S.R., Ishiga, Y., Wangdi, T., Urbanczyk-Wochniak, E., Ishiga, T., Mysore, K.S. & Bender, C.L. (2008). Pathogenicity of *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* on tomato seedlings: phenotypic and gene expression analyses of the virulence function of coronatine. Moleculer Plant-Microbe, 21: 383-395.
- Ustun, N., & Saygili, H. (2001). Pith necrosis on greenhouse tomatoes in Aegean region of Turkey. In 11th Congress of Mediterranean Phytopathological Union and 3rd Congress of Sociedade Portuguesa de Fitopatologia.
- Valencia-Botin A.J. & Cisneros-Lopez M.E. (2012). A review of the studies and interactions of *Pseudomonas syringae* pathovars on wheat. International Journal of Agronomy 4(1): 5. DOI: <http://doi.org/10.1155/2012/692350>.
- Vanneste, J. L., (2000). Fire blight, the disease and its causative agent, *Erwinia amylovora*, 370p, CAB Publishing, UK.
- Van Der Zwet, T., & Beer, S. V. (1991). Fireblight Its Nature, Prevention And Control, A Practical Guide To İntegrated Disease Management. U.S. Departmant Of Agriculture, Agriculture Informaiton Bulleiton No :631,83.

- Van Der Zwet, T., & Beer, S.V. (1995). Fire Blight Its Nature, Prevention and Control A Practical Guide to Integrated Disease Management. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Information Bulletin No. 631, 97.
- Van der Zwet, T., Orolaza-Halbrendt, N. & Zeller, W. (2012). Fire blight: history, biology, and management. APS Press/American Phytopathological Society, St. Pau
- Vasinauskiene, M. & Baranauskaite, L. (2003): *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* the causal agent of bacterial canker on pear trees in Lithuania Sodininkyste-ir-Darzininkyste. 22(3):217-22.
- Varvaro, L. & Fabi, A. (1992) The role of ice nucleation active *Pseudomonas viridiflava* in frost injury to kiwifruit plants. Rivista di Patologia Vegetale, 2: 85-90
- Wall, G. C., Santos, V. M., Cruz, F. J. & Nelson, D. A. (1990). Outbreak of Watermelon Fruit Blotch in the Mariana Islans. Plant Diseases, 74:80.
- Walcott, R. R., Fessehaie, A., & Castro, A. C. (2004). Differences in pathogenicity between two genetically distinct groups of *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* on cucurbit hosts. Journal of Phytopathology, 152(5): 277-285.
- Wang, X., Li, G., Jiang, D. & Huang, H.C., (2009). Screening of Plant Epiphytic Yeasts for Biocontrol of Bacterial Fruit Blotch (*Acidovorax avenae* subsp. *citrulli*) of Hami Melon. Biological Control, 50(2): 164-171.
- Weaver, D. J. (1978). Interaction of *Pseudomonas syringae* and freezing in bacterial canker on excised peach twigs. Phytopathology 68:1460-1463.
- Xin, X.F. & He, S.Y. (2013). *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* DC3000: a model pathogen for probing disease susceptibility and hormone signaling in plants. Annual review of phytopathology, 51: 473-498.
- Yamamoto, S., Kasai, H., Arnold, D. L., Jackson, R. W., Vivian, A., & Harayama, S. (2000). Phylogeny of the genus *Pseudomonas*: intragenetic structure reconstructed from the nucleotide sequences of *gyrB* and *rpoD* genes. Microbiology, 146(10): 2385-2394.
- Yildiz, H.N., Aysan, Y.E.Ş.İ.M., Sahin, F. & Cinar, O. (2004) Potential inoculum sources of tomato stem and pith necrosis caused by *Pseudomonas viridiflava* in

- the Eastern Mediterranean Region of Turkey. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, 111, 380–387.
- Young, J. M., Dye, D. W., Bradbury, J. F., Panagopoulos, C. G., & Robbs, C. F. (1978). A proposed nomenclature and classification for plant pathogenic bacteria. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 21(1): 153-177.
- Yunis, H., Bashan, Y., Okon, Y., & Henis, Y. (1980). Weather dependence, yield losses, and control of bacterial speck of tomato caused by *Pseudomonas tomato*. *Plant Dis*, 64(937), 10-1094.
- Zaccardelli, M., Spasiano, A., Bazzi, C., & Merighi, M. (2005). Identification and in planta detection of *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* using PCR amplification of *hrpZ* Pst. *European Journal of Plant Pathology*, 111: 85-90.

BÖLÜM 14

YABANCI OTLARDA HERBİSİT DAYANIKLILIĞI VE TÜRKİYE’DE YAPILAN GÜNCEL BAZI ÇALIŞMALAR

Dr. Öğr. Üyesi Bahadır ŞİN¹
Prof Dr. İzzet KADIOĞLU²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13767923>

¹ Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Sakarya, Türkiye, sinbahadir@gmail.com, Orcid ID: 0000-0002-0109-3662

² Mersin, Türkiye, izzetkadioglu@gmail.com, Orcid ID: 0000-0002-5080-4424

GİRİŞ

Tarım tarihi boyunca bitkisel kökenli ürünler insanoğlu için temel bir önem taşımıştır. Bitkisel ürünler, gıda maddelerinden barınma, hayvan yemi, boya maddeleri ve gübreye kadar farklı kullanım amaçlarına sahiptir. Tarım alanlarının her geçen gün azalması ile nüfus artışı bitkisel ürün talebini arttırmaktadır. Üstelik, bitkisel üretimde sadece yetersiz alan değil, aynı zamanda hastalıklar ile yabancı otlar gibi zararlı bitki koruma etmenleri de verimde azalışlara yol açmaktadır. Bu etmenlerin %100'e varan kayıp meydana getirebildiği yayınlarda yer almaktadır. 1967 yılında Cramer'in yapmış olduğu bir çalışmada, farklı ürün çeşitlerinde bitki koruma etmenlerinin neden olduğu kayıpların miktarları sunulmuştur (Cramer,1967). Çizelge 1'de bu veriler özetlenmiş ve aşağıda bu çizelgede yazılanlar hakkında ayrıntılı bir bilgi verilmiştir. Bilimsel çalışmalar geliştikçe bu oranlar bugün için daha da artış göstermektedir.

Çizelge 1. Farklı Kültür Bitkilerinde Hastalıkların, Zararlı Hayvansal Organizmaların (ZHO) ve Yabancı Otların Meydana Getirmiş Olduğu Zarar Miktarları (mil. ton) (Cramer, 1967)

Ürün Çeşidi	Gerçek Ürün Miktarı	Elde Edilecek Ürün Potansiyeli	Kayıplar			
			ZHO	Hastalıklar	Yabancı Otlar	Toplam
Buğday	265537	351114	17794	33438	34438	85670
Yulaf	49902	59220	4152	6212	5951	16315
Arpa	92826	117364	4544	9697	10296	24537
Çavdar	32658	38526	865	1339	3664	5868
Çeltik	231974	438796	120728	39410	46685	206823
Bağ	50697	78267	2724	16937	7909	27570
Meyve	75600	96600	7600	10800	2600	21000
Sebze	201691	279910	23364	31137	23718	78219
Toplam	1000885	1459797	181771	14897	135261	466002

Özellikle yabancı otlardan dolayı meydana gelen ürün kayıplarının çapa bitkisi de olmaması nedeniyle buğdayda dünyada %15-20, Ülkemizde ise %20-35 oranında ürün kayıplarına neden olduğu bildirilmektedir (Anonim, 2008). Bu oran bazı kültür bitkilerinde ve bazı yabancı otlardan dolayı çok daha yüksek oranlara çıkabilmektedir. Özellikle güncel bilimsel çalışmaların yapılması ile yabancı otlardan meydana gelen ürün kayıplarının daha yüksek oranlarda olduğu tartışmasız bilinmektedir. Tarımda sürdürülebilirliği artırmak ve oluşan ürün kayıplarını olabilecek en az miktara düşürmek için modern tarım teknikleri, entegre zararlı yönetimi ve hassas tarım yöntemleri gibi yeni uygulamalar yapılmakta ve dünya genelinde çalışmalar hız kesmeden devam etmektedir.

Hızla Dünya nüfusunun artması, ülkelerin önemli sorunlarından ve bu artış nedeniyle gıda talebinin karşılanamamasıdır. Dünya nüfusu sürekli artarken, tarım arazilerinin azalması, erozyonun ve sanayi bölgelerinin genişlemesinin etkisiyle mevcut tarımsal alanların daralmasıyla sonuçlanmaktadır. Bu bağlamda, birim alandan bitkisel üretim açısından en yüksek oranda verimin elde edilmesi ana hedef olmuştur. Bunun için, tarım tekniklerinin iyileştirilmesi ve kültür bitkilerinde ortaya çıkan hastalıklar, hayvansal zararlı organizmalar ve yabancı otlarla etkin mücadele edilmesi gerekmektedir. Özellikle entansif tarım yapılan bölgelerde, kimyasal mücadele yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin kolay uygulanabiliyor olması, hızlı bir etki göstermesi ve maliyet açısından da avantajlı olması nedeniyle kullanımı tercih edilmektedir. Ancak kimyasal mücadele yöntemlerinin uzun vadeli çevresel etkileri ve direnç oluşumu gibi sorunları da göz ardı edilmemelidir.

Tarımsal üretimde maksimum verim ile kaliteli ürün elde etmek için verim kaybı durumuna neden olan bitki koruma etmenleriyle düzenli olarak mücadele etmeyi gerektirir. Bu mücadelede, kimyasal içeren pestisitler en çok kullanılmaktadır. Ancak, pestisitlerin kullanımı ve

türleri dünya genelinde ve Türkiye’de farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar, yerel tarım koşulları, ekosistemler ve tarımsal ürün çeşitliliği gibi faktörlere bağlıdır. Dünyada kimyasal mücadele amacıyla kullanılan pestisitlerden; herbisitler %53,3, fungusitler ve bakterisitler %23,2 insektisitler %16,7’lik bir paya sahipken Türkiye’de ise fungusitler %38,4, herbisitler %27,4, insektisitler ise %23’lük bir paya sahiptir (Özercan ve Taşçı, 2022). Yabancı otlara karşı mücadelede ise pratikte kültürel, mekaniksel savaş, fiziksel ve kimyasal savaş gibi birçok yöntem kullanılmaktadır (Özer ve ark., 2003).

Kimyasal mücadele yöntemlerinin yaygın kullanımı, gıda maddelerinde, suda ve toprakta kalıntı bırakması gibi oldukça ciddi bir çevresel ve sağlık sorununa neden olabilmektedir. Bu durum, özellikle toksik kalıntıların birikmesi ve biyolojik çeşitlilik üzerinde olumsuz etkiler yaratması açısından endişe vericidir. Ayrıca, hedef dışı organizmaların zarar görmesi ve pestisitlere karşı direnç geliştirmesi gibi sorunlar da giderek artmaktadır. Sonuç olarak, kimyasal mücadele yöntemlerinin kullanımının sürdürülebilirliği için entegre zararlı yönetimi ve alternatif mücadele stratejileri üzerine odaklanılması gerekmektedir. Bu yaklaşımlar, tarımsal ürün verimliliğini artırırken çevre ve insan sağlığını koruma amacını taşımalıdır. Özellikle son yıllarda dünyada ve Ülkemizde herbisit kullanımının yaygınlaşması gerekçesi ile yabancı otlarda herbisitlere dayanıklılık problemlerinde artışlar görülmüştür. Bu bölümde herbisitler ve herbisitlerden kaynaklı dayanıklılık problemleri işlenecektir.

2. HERBİSİTLER HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Yabancı otların kontrolünü yapmak için uygulanacak olan mücadele yöntemlerinden birisi kimyasal savaşım yöntemidir. Tarımsal ürünlerimizde bitki koruma etmenlerine karşı kullanılan kimyasal maddeler pestisit, yabancı otların kontrolünde kullanılan kimyasal maddeler ise herbisit olarak adlandırılmaktadır.

Tarımın tarihsel sürecinde herbisitlerin tarih sahnesine çıkması, 1800'lere kadar uzanmasına rağmen genel olarak iki farklı zaman kategorisine ayırabiliriz. Modern herbisitlerin bulunması bakımından 1945 yılı tam bir dönüm noktası olarak bilinmesine karşın, kimyasal savaşımın tarihi bundan öncesine de dayanmaktadır. İlk kez 1800'lerin başında sahneye çıkan herbisitler demir sülfat ve sülfirik asit olarak bilinmektedir. O tarihte bu kimyasallar selektif herbisit olarak kullanılmıştır. Devamında ise inorganik bileşiklerden bakır nitrat, bakır sülfat, sülfirik asit, sodyum klorit gibi maddeler herbisit olarak kullanıma sunulmuştur. İlk total herbisit olan sodyum klorit ve sodyum arsenit gibi kimyasal maddeler 1929-1933 yılları arasında keşfedilmiştir. Daha sonra ise fenolik bileşikler selektif herbisit olarak kullanılmaya başlamıştır.

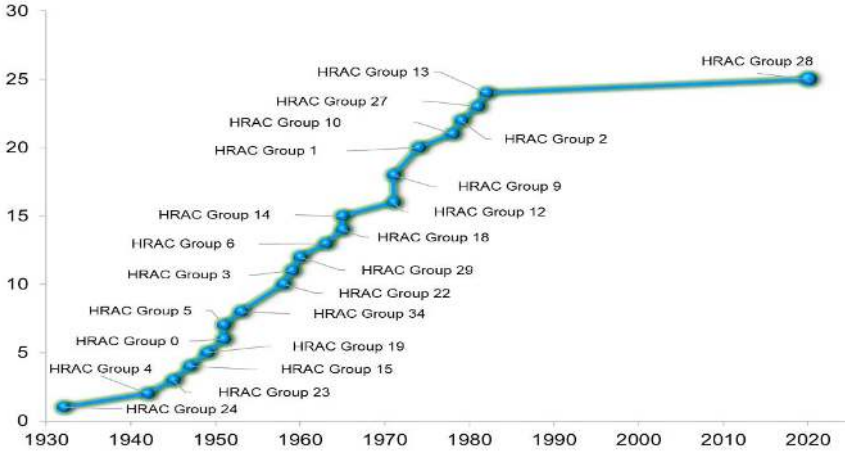
2.1. Modern Herbisitlerin Keşfi ve Sonrası:

İkinci Dünya Savaşını müteakip teknolojide başlayan gelişmeler, herbisitlerin de önemli bir gelişim sürecine yol açmıştır. Günümüzde 27 farklı gruba ait, etki mekanizması farklı 17 herbisit bulunmaktadır. Modern herbisitlerin tarihteki yerini Auxin grubu herbisitler (2,4-D) 1945 yılında kullanımı ile almıştır. Aynı grupta bulunan MCPA ise 1952 yılında etkili aktif madde olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yağ asidi inhibitörü herbisitler (örneğin EPTC) ve pigment inhibitörleri (örneğin Amitrole) 1959 yılında kullanıma girmiştir. Simazin ve bromacilin 1963 yılında keşfiyle fotosentez inhibitörü herbisitler devreye girmiş, bu grubu 1974 yılında ESPS sentezi inhibitörü olan Glyphosate herbisitleri takip etmiştir. Diclofop türevi herbisitleri içeren yağ asidi inhibitörü (ACCase) herbisitleri ise 1976 yılında kullanılmaya başlanmıştır. Amino asit inhibitörleri (ALS) olarak bilinen herbisitler ise ilk kez 1982 yılında aktif olarak kullanılmaya başlanmıştır (Heap, 2000; Cobb ve Reade, 2010). Günümüzde HRAC (Herbicide Resistance Action Committee) tarafından bildirilen 25 farklı herbisit grubunda 224 farklı herbisit etken maddesi bulunmaktadır (HRAC, 2024). Herbisitlerin etki şekline göre sınıflandırılması ve grup kodları Çizelge 2'de verilmiştir. Herbisitlerin

tarihsel gelişimini anlatan basit bir grafik Şekil 1'deki görselde verilmektedir.

Çizelge 2. Etki Mekanizmalarına Göre Herbisitler (hracglobal.com)

HRAC	Legacy HRAC	Etki Şekli
1	A	Acetyl CoA Carboxylase (ACCCase) İnhibisyonu
2	B	Acetolactate Synthase (ALS) İnhibisyonu
3	K1	Mikrotübül İnhibisyonu
4	O	Auxin mimics
5	C1, 2	PS II-D1'de Serin 264 bağlayıcılarda Fotosentezin İnhibisyonu (ve diğer histidin olmayan 215 bağlayıcılar)
6	C3	PS II – D1 Histidine 215 bağlayıcılarda Fotosentezin İnhibisyonu
9	G	Enolpyruvyl Shikimate Phosphate Synthase (EPSPS) İnhibisyonu
10	H	Glutamine Synthetase (GS) İnhibisyonu
12	F1	Phytoene Desaturase (PDS) İnhibisyonu
13	F4	Deoxy-D-Xylulose Fosfat Sentez (DXPS) İnhibisyonu
14	E	Protoporphyrinogen Oksidaz (PPO) İnhibisyonu
15	K3	Uzun Zincir Fatty Acid Synthesis (VLCFA) İnhibisyonu
18	I	Dihydroopteroate Synthase (DHPS) İnhibisyonu
19	P	Oksin Taşıma İnhibitörleri
22	D	PS I Electron Diversion
23	K2	Mikrotübül organizasyonunun inhibisyonu
24	M	Uncouplers
27	F2	Hydroxyphenyl Pyruvate Dioxygenase (HPPD) İnhibisyonu
28	None	Dihydroorotate Dehydrogenase (DHODH) İnhibisyonu
29	L	Selüloz sentezi İnhibisyonu
30	Q	Fatty Acid Thioesterase (FAT) İnhibisyonu
31	R	Serine Threonine Protein Phosphatase (STPP) İnhibisyonu
32	S	Solanesyl Diphosphate Sentezi (SDPS) İnhibisyonu
33	T	Homogentisate Solanesyltransferase (HST) İnhibisyonu
ø	Z	Bilinmeyen etki mekanizması



Şekil 1. Dünyada Kullanılan Herbisit Gruplarının Çıkış Tarihleri. (www.weedscience.org)

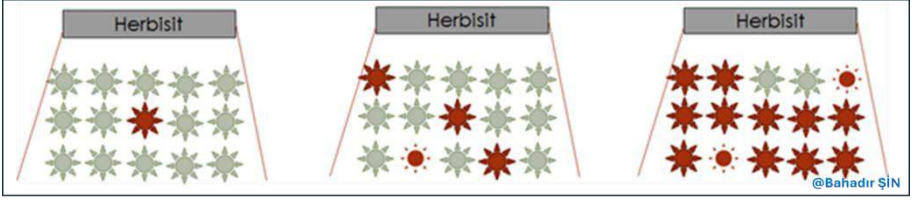
3. HERBİSİTLERE KARŞI OLUŞAN DAYANIKLILIK

İstenmeyen yerde yetişen ve faydasından daha çok zararı olan bitkiler olarak tanımlaması yapılan yabancı otlara karşı çok farklı savaşım yöntemleri kullanılmaktadır. Herbisitlerin tarihsel gelişimi ile kimyasal uygulamalar artmakla birlikte en çok kullanılan mücadele yöntemlerinden birisi olmaktadır. Herbisitler gerek uygulama yönteminin kolay olması gerek etkili bir çözüm yolu olması ve yapılan uygulamalarının oldukça kolay olması ile daha çok tercih edilmektedir. Özellikle buğday gibi çapa yapılamayan bitkilerde son derece önemli bir savaşım yöntemi olarak karşılaşılmaktadır.

Herbisitler ne kadar kolay kullanılabilir olsa da kullanımı sırasında uygulama şekline, etki ettiği bitki grubuna ve talimatlarda yazılı olan dozlara dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu gibi hassas noktalara dikkat edilmemesi neticesinde yabancı otlarda oluşan herbisit dayanıklılık sorunları ortaya çıkmaktadır. Genel anlamda “**yabancı otlarda herbisit dayanıklılığı; bir bitkinin değişik kimyasal sınıflardan herbisitlere karşı sahip olduğu genetik özellikleri sayesinde karşı koyabilme özelliğidir**” (Moss, 2002) şeklinde tanımlanmaktadır.

Harper, 1956 yılında yabancı otların zamanla uygulanan herbisitlere karşı direnç geliştirebileceğini öngörmüştür. Bu konsept, herbisitlerin sürekli ve yoğun kullanımının, yabancı ot popülasyonları içinde dirençli bireylerin seçilmesine ve çoğalmasına yol açabileceğini vurgulamaktadır. Yabancı otların uygulanan herbisitlere direnç geliştirmesi, herbisitlerin etkinliğini zamanla azaltabilir ve tarımsal üretimde sorunlara neden olabilir. Bu nedenle, entegre zararlı yönetimi stratejilerinin benimsenmesi ve herbisit kullanımının dikkatle yönetilmesi, direnç gelişimini azaltmada önemli bir rol oynamaktadır (Heap, 2000). Aynı yıllarda adi kanarya otu (*Senecio vulgaris* L.)'nun 1957 yılında herbisitlere karşı dayanıklılığından söz edilmiştir (Holt, 1988). Herbisit kullanımının giderek artması sonucunda, ilk kez 1973 yılında Avusturya'da triazin etken maddeli herbisitlere karşı horozibiği (*Amaranthus* sp.) yabancı otunda dirençli biotiplerin varlığı tespit edilmiştir. Ayrıca, Fransa'da 1978 yılında sirkende (*Chenopodium album* L.) çoklu direnç mekanizmalarının bulunduğu raporlanmıştır (Heap, 2000). Bu durumlar, herbisitlere karşı yabancı otların zamanla direnç geliştirebileceğini ve bu direncin farklı mekanizmalarla ortaya çıkabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, herbisit direnç yönetimi stratejilerinin önemi giderek artmaktadır. Çünkü etkinliklerini sürdürebilmeleri için herbisitlerin dikkatli ve döngüsel kullanımı gereklidir.

Yabancı otlarda herbisitlerden kaynaklanan dayanıklılığın oluşması için ilaç uygulaması yapılan bir arazide dayanıklı bir birey ya da bireylerin çıkması gerekmektedir. Bu dayanıklı bireylerin tohumları ile çoğalan yeni bireylerde dayanıklı olmaktadır. Daha sonraki sezonda çoğalan bu dayanıklı bireylerin tohumları ile çoğalan yeni bireyler tamamıyla yeni dayanıklı bireyler oluşturmaktadır. İlerleyen dönemlerde ise bu dayanıklılığın giderek yayılması ve en son olarak dayanıklı olan popülasyonların tüm araziye kaplanması söz konusu olabilmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Herbisit Uygulaması Sonucu Dayanıklı Bireylerin Oluşması ve Yayılması. (Yeşil hassas popülasyon, kırmızılar ise dayanıklı popülasyon)

Yabancı otlarda dayanıklı popülasyonların oluşabilmesi için farklı etkenlere ihtiyaç vardır. Bu etkenler;

- a). Yoğun bir şekilde kimyasal maddenin kullanılması
- b). Sürekli olarak aynı etkili aktif madde ya da etki mekanizması aynı herbisitlerin düzenli olarak kullanımı
- c). Kullanılan herbisitlerde düşük ya da yüksek olarak hatalı doz uygulamalarının yapılması
- d). Yabancı ot yoğunluklarındaki artış
- e). Çevresel faktörler şeklinde maddelenebilmektedir.

3.1. Yabancı Otlardaki Dayanıklılık Mekanizmaları ve Dünyadaki Durumu

Hatalı ve yoğun bir herbisit kullanımını nedeniyle yabancı otlarda bu etkili kimyasal maddelere karşı bir dayanıklılık gelişmektedir. Bitkilerde kimyasal maddelere karşı oluşan bu dayanıklılığın farklı oluşum mekanizmaları bulunmaktadır. Bu mekanizmalar genel olarak incelendiğinde temel farklılıkların olduğundan bahsedilebilmektedir. Bunlar (Eymirli, 2024)

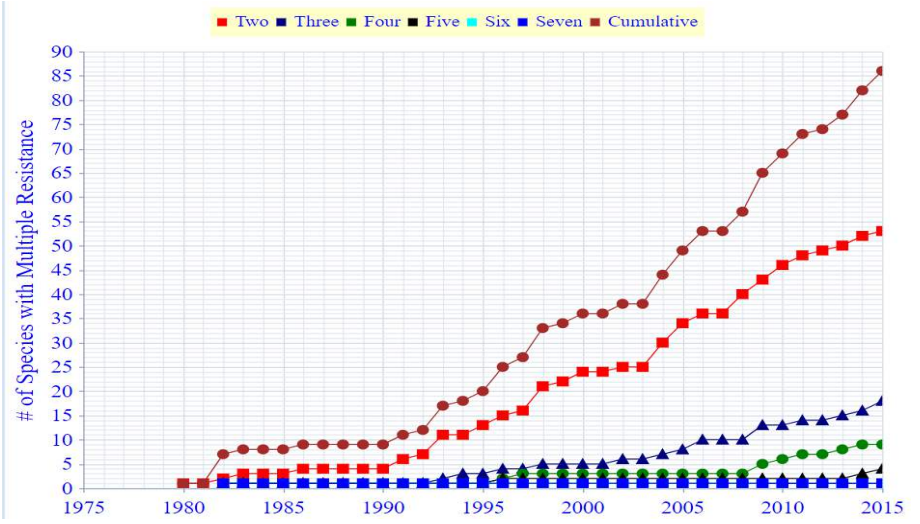
a). Çapraz Dayanıklılık: Yabancı otun bir herbisit grubuna karşı kazanmış olduğu dayanıklılık türüdür. Genel anlamda iki farklı çeşidi bulunmaktadır.

a.1.) Hedef site çapraz dayanıklılığı: Aynı grup herbisitlere karşı yabancı otta dayanıklılık oluşması durumunda kazanılan dayanıklılık çeşididir. En yaygın olan dayanıklılık türüdür.

a.2.) Hedef site dışı çapraz dayanıklılığı: Yabancı otun diğer herbisit gruplarına karşı oluşturmuş olduğu dayanıklılık çeşididir.

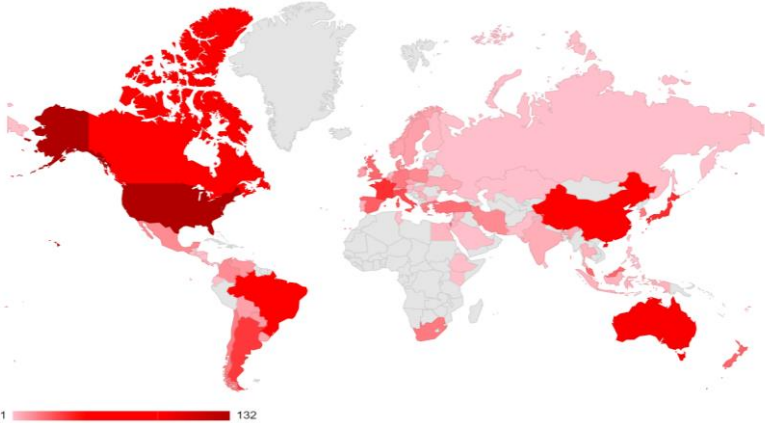
b). Çoklu Dayanıklılık: Aynı bitkide üzerinde birden çok dayanıklılık mekanizmasının oluşması durumunda görülen dayanıklılık çeşididir. Örneğin ACCase (Acetyl-CoA carboxylase) herbisitleri sonucunda hem ALS hem de ACCase grubu herbisitlere karşı dayanıklılık oluşması gibi.

Dünya genelinde ilk kez yabancı otlarda herbisitlere karşı dayanıklılıktan 1957 yılında söz edilmesinden sonra 1970 yılına kadar rapor edilmiş herhangi bir vaka bulunmamaktadır. Özellikle 1973 yılında dayanıklı biotip testlemelerinin yapılmasından sonra yabancı otlarda dayanıklılık sorunu daha çok araştırılmaya ve vaka sayısında da önemli bir şekilde artış görülmeye başlanmıştır. 1978 yılından itibaren de çoklu dayanıklılık kavramının bulunmasından sonra vaka sayısı gittikçe artmıştır. Özellikle farklı gruplara karşı aynı anda dayanıklılık kazanması giderek daha çok artış göstermektedir (Şekil 3). Günümüzde çeşitli herbisit gruplarına dayanıklılık kazanmış olan yabancı ot vaka sayısı 531 olarak tespit edilmiştir (Anonim, 2024).



Şekil 3. Yabancı Otlarda Çoklu Dayanıklılık Seyir Çizelgesi (www.weedscience.org)

Kanaatimiz odur ki Dünyada tespit edilmiş ve literatüre girmiş resmi 531 farklı herbisit grubu-yabancı ot vakası bulunmuş olmasına rağmen bu rakam daha fazladır (Şekil 4). Herbisit dayanıklılığı ile yapılan çalışmalar ve vakalar merkezi Amerika'da olan weedscience.com isimli internet sitesinde listelenmektedir.



Şekil 4. Dayanıklılık Vakası Bulunan Ülkelerin Haritadaki Durumu (www.weedscience.org)

Yapılan çalışmalar sonucunda 66 farklı ülkede herbisit dayanıklılığı ile ilgili raporlanan vaka mevcuttur. Bu vakalar ile ilgili

dayanıklılık kazanılan ülkeler bazındaki herbisit grupları Çizelge 3’de verilmiştir. Türkiye herbisit dayanıklılığı vaka çalışmaları tespiti konusunda 19 farklı vaka sayısı ile 15’inci sırada bulunmaktadır. Dünyada genelinde yapılmış literatüre girmiş olan herbisit dayanıklılığı çalışmaları sayısı 938 olarak görülmektedir. Çizelgeye göre en yüksek orandaki herbisit dayanıklılığı vaka sayısı 419’ile B (2) grubunda yer alan ALS grubu inhibitörlerinde yer almaktadır. Bu grubu 164 vaka ile A (1) grubunda yer alan ACCase inhibitörleri izlemektedir. Çizelgede de görüldüğü gibi bazı ülkelerde vaka sayısı azdır. Oluşan bu durumun iki ana nedeni olabilmektedir. Bu nedenlerden ilki bu ülkelerde herbisit kullanım oranı azdır. İkincisi ise dayanıklılık ile ilgili yeterli çalışma yapılmamıştır. Türkiye içinde aynı yorum geçerlidir.

Çizelge 3. Dünya Genelinde Herbisit Dayanıklılığı Görülen Ülkeler, Vaka Sayıları ve Saptanan Herbisit Grupları.

Ülkeler	Toplam	1 (A)	2 (B)	3 (K1)	4 (O)	9 (G)	22 (D)	Diğer
Amerika Birleşik Devletleri	132	15	56	6	11	18	6	20
Avustralya	91	14	27	3	4	21	11	11
Kanada	56	5	25	1	7	8	3	7
Brazilya	50	7	20	-	4	12	1	6
Çin	48	10	22	-	5	2	5	4
Japonya	35	2	21	2	-	3	7	-
Fransa	34	7	23	-	1	3	-	-
Arjantin	32	3	6	-	4	18	-	1
İtalya	27	8	13	-	1	4	-	1
İsrail	24	6	14	-	-	2	-	2
İspanya	23	3	10	-	1	8	-	1
Yeni Zelanda	22	3	5	-	5	2	2	5
Malezya	21	1	6	-	4	2	7	1
Birleşik Krallık	21	4	11	1	1	-	2	2
Türkiye	19	6	11	-	1	1	-	-
Almanya	17	5	12	-	-	-	-	-

Ülkeler	Toplam	1 (A)	2 (B)	3 (K1)	4 (O)	9 (G)	22 (D)	Diğer
Güney Afrika	17	3	6	-	-	5	3	-
Güney Kore	17	3	13	-	-	1	-	-
Şile	16	5	10	-	-	1	-	-
Yunanistan	15	3	6	-	1	4	-	1
Belçika	14	2	5	1	-	-	3	3
Kolombiya	13	2	4	-	1	4	1	1
Danimarka	13	4	8	1	-	-	-	-
İran	13	7	5	-	1	-	-	-
Meksika	13	3	2	-	-	8	-	-
Polonya	13	3	8	-	1	1	-	-
Venezuela	10	2	7	-	-	1	-	-
Paraguay	9	1	3	-	-	4	1	-
Bolivya	8	4	2	-	-	1	-	1
İrlanda	8	4	4	-	-	-	-	-
İsveç	8	1	6	-	1	-	-	-
İsviçre	8	2	3	-	-	3	-	-
Kosta Rica	7	1	4	-	-	2	-	-
Norveç	7	-	7	-	-	-	-	-
Uruguay	7	-	2	-	1	4	-	-
Çekya	6	-	5	-	-	1	-	-
Hindistan	5	1	4	-	-	-	-	-
Ukrayna	5	-	4	-	-	-	-	1
İndonezya	4	-	1	-	1	1	1	-
Portekiz	4	-	1	-	-	3	-	-
Sırbistan	4	1	3	-	-	-	-	-
Tayland	4	2	-	-	1	-	-	1
Mısır	3	1	1	-	-	-	1	-
Macaristan	3	-	1	-	1	1	-	-
Ürdün	3	-	-	-	-	-	2	1
Suriye	3	3	-	-	-	-	-	-
Avusturya	2	-	2	-	-	-	-	-

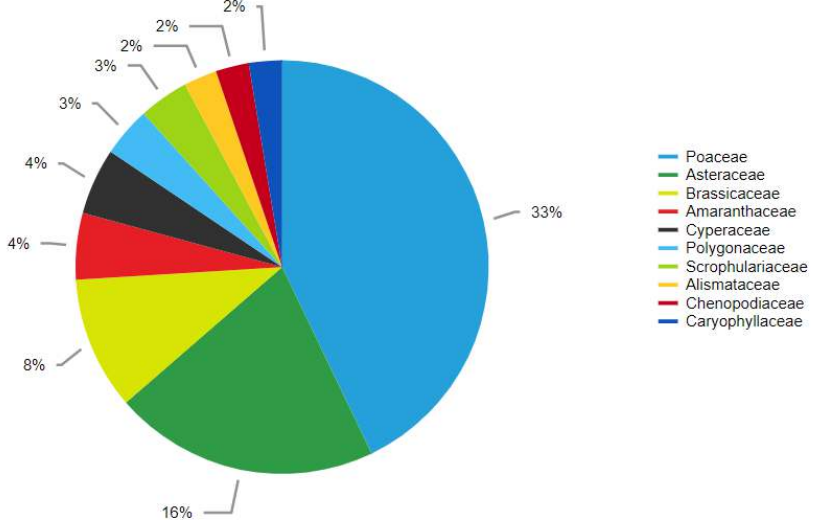
Ülkeler	Toplam	1 (A)	2 (B)	3 (K1)	4 (O)	9 (G)	22 (D)	Diğer
Kıbrıs	2	1	1	-	-	-	-	-
Finlandiya	2	-	2	-	-	-	-	-
Letonya	2	-	2	-	-	-	-	-
Hollanda	2	1	1	-	-	-	-	-
Vietnam	2	-	1	-	-	-	-	1
Bulgaristan	1	-	-	1	-	-	-	-
Ethiopya	1	1	-	-	-	-	-	-
Fiji	1	-	-	-	-	-	1	-
Kazakistan	1	-	1	-	-	-	-	-
Kenya	1	-	-	-	-	-	1	-
Litvanya	1	-	1	-	-	-	-	-
Nikaragua	1	1	-	-	-	-	-	-
Pakistan	1	1	-	-	-	-	-	-
Filipinler	1	-	-	-	1	-	-	-
Rusya	1	-	1	-	-	-	-	-
Sudi Arabistan	1	1	-	-	-	-	-	-
Sri Lanka	1	-	-	-	-	-	1	-
Tayvan	1	-	-	-	-	-	1	-
Tunus	1	1	-	-	-	-	-	-

(www.weedscience.org)

Dünyada literatüre girmiş olan 531 farklı herbisit-yabancı ot vakasında ise farklı herbisit grupları ve bitkiler yer almaktadır. Geçmiş en yeni herbisitlerden birisi olan ALS grubu herbisitler 106 dikotiledon, 68 monokotiledon bitkide görülerek 174 farklı vaka ile birinci sırayı almaktadır.

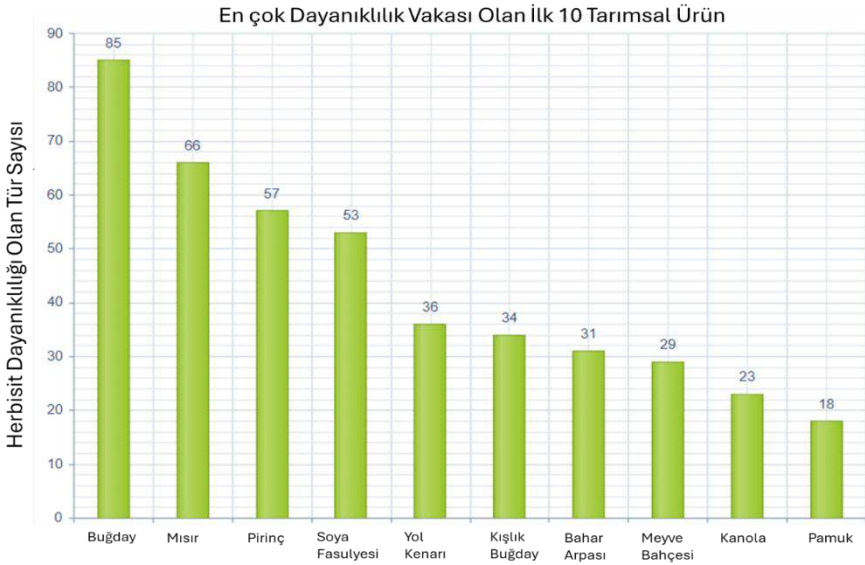
Dünyada en çok dayanıklılığın tespit edilmiş olduğu bitki *Lolium rigidum*'dur. Bununla birlikte 272 farklı yabancı otta dayanıklılık olduğuna dair raporlar mevcuttur. Familya bazında bakıldığında ise genel olarak 10 farklı bitki familyası olduğu ve bu grup içerisinde en

yüksek dayanıklı popülasyona sahip olan familyanın Poaceae familyası olduğu yapılan çalışmalar ile belirlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Familyalar Bazında Yabancı Otlarda Dayanıklılık Yüzdesi (İlk 10 Familya) (www.weedscience.org)

Yabancı otlarda direncin oluşabilmesi için öncelikle yoğun bir şekilde herbisit uygulamasının olması gerekmektedir. Bunun içinde başta buğday gibi çapa yapılamayan ve çok yoğun miktarda herbisit kullanılan kültür bitkilerinde yabancı ot-herbisit dayanıklılığı söz konusu olabilmektedir (Prado ve ark., 1997). Literatür çalışmaları incelendiği zaman da en yüksek dayanıklılığın buğday içerisindeki yabancı otlarda olduğu bunu da sırasıyla mısır, pirinç ve soya bitkilerinin izlediği görülmektedir (Şekil 6). Buda göstermektedir ki savaşım yöntemi belirlenir iken dayanıklılık sorunu oluşma riski göz ardı edilmemelidir.



Şekil 6. En Çok Dayanıklılık Vakası Olan İlk 10 Tarımsal Ürün (www.weedscience.org)

4. TÜRKİYE’DE YABANCI OT DAYANIKLILIĞI İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Türkiye’de yabancı ot-herbisit dayanıklılığına yönelik çeşitli bilim insanlarının yaptığı çalışmalar ile bu çalışmaları destekleyen çeşitli kuruluşlar mevcuttur. Yapılan literatür taramalarında 50’nin üzerinde çalışma ve bilimsel makale olduğu görülmektedir.

4.1. Türkiye’deki İlk Çalışmalar

Türkiye’de dayanıklılık konusunda ilk yapılmış çalışma Özörgücü ve Türkan (1986) tarafından Tabiat ve İnsan dergisinde yayınlanmış olan “Herbisitlere Dayanıklılık” isimli derlemedir. Diğer ilk çalışmalardan biri de Kadioğlu (1991) tarafından Bitkilerde herbisitlere dayanıklılık isimli Adana Zirai Mücadele Araştırma Enstitüsü’nde verilen bir seminerdir. Tepe ve Nemli (1992) ise 1992 yılında Yabancı otlarda herbisitlere dayanıklılık isimli derleme makalelerini Yüzüncü Yıl Üniversitesi Dergisinde yayınlamışlardır.

Türkiye’de bu alanda ilk deneysel çalışmaların başlangıcı olarak 1997 yılında yapılmış olan 2 çalışma örnek olarak verilebilir. Bu çalışmalarda ilki Demirci (1997); In vitro testlerde trifluraline uygulamaları sonucu *Setaria verticillata* (L.)’da dayanıklılığın saptanmasına yönelik çalışmadır. Diğeri ise Uzun ve Topuz (1997)’un Ege Bölgesi’nde pamuk yetiştirilen alanlarında problem olan bazı önemli yabancı otların popülasyon değişimi ile trifluralin’e duyarlılık azalmasının belirlenmesi çalışmalarıdır.

4.2. Türkiye’de Yapılan Bazı Tez Çalışmaları

Türkiye’de yabancı otlarda oluşan dayanıklılık ile ilgili farklı tez çalışmaları yapılmış ve halen devam etmektedir. Maalesef bu çalışmaların çoğunluğu bioassay yöntemi ile yapılmıştır. Bazılarında bioassay çalışmaları ile moleküler çalışmalar da beraber yapılmıştır. Türkiye’de bu alanda yapılan ilk tez Uludağ (2003) tarafından yapılmış olup çalışmada Adana ve Kahramanmaraş bölgesinden alınan yabancı yulaf örneklerindeki ACCase grubuna karşı dayanıklılık durumu incelenmiştir. Ayrıca bu araştırmada çapraz dayanıklılık araştırmaları da yapılmış ilk doktora tez çalışması olarak kayda girmiştir. Bu çalışma literatüre ilk kez Türkiye’de de yabancı otlarda herbisit dayanıklılığı olduğunun literatüre geçmesi yönünden önem taşımakta olup çalışma ile moleküler bazlı teşhis çalışmalarının da temeli atılmıştır. Çalışma sonuçları çeşitli dergilerde makaleler olarak yayınlanmıştır (Uludağ ve ark., 2007).

Dayanıklılıkla ilgili en çok tespitin yapılmış olduğu yabancı otlar *Avena sterilis* ve *A. fatua*’dır. Buğdayda en büyük sorunlarından olan bu yabancı otlardan *A. sterilis*’in ACCase ve ALS grubu herbisitlere dayanıklılığı Yücel (2004)’in Çukurova Bölgesinde yürüttüğü çalışmasında ele alınmış, ACCase grubu herbisitlere karşı bioassay yöntemi ile dayanıklılık tespit edilmiştir. Bir başka çalışmada ise 2014 yılında Adana ili buğday alanlarında kısır yabancı yulaf (*Avena sterilis* L.)’in ACCase (Acetyl-Coa Carboxylase) inhibitörü herbisitlere karşı

oluşturduğu dayanıklılık durumu incelenmiş, Çukurova Bölgesinde *A. sterilis*'e karşı dayanıklılığın önceki yıllara göre arttığı belirlenmiştir (Ayata, 2014).

Marmara Bölgesi'nde yürütülen bir başka çalışmada ise yabancı yulaf (*Avena fatua* L.) ve kısır yabancı yulaf (*Avena sterilis* L.)'ın buğday alanlarında herbisitlere dayanıklılığına bakılmıştır. Çalışmada farklı ekolojik koşullarda yetişmiş *A. sterilis* ve *A. fatua* tohumları toplanmış ayrıca ACCase grubu herbisitlere karşı oluşturdukları dayanıklılık bioassay yöntemleri kullanılarak testlenmiştir. Ayrıca bu çalışma ile serada kurulan saksı denemesi ile tarla koşullarında kurulan denemeler arasında fark olup olmadığına bakılmış ve önemli bir farkın olmadığı ortaya konulmuş ve yayın haline getirmiştir (Türkseven, 2011; Türkseven ve Nemli, 2015).

Diyarbakır'daki buğday alanlarında kısır yabancı yulaf (*Avena sterilis* L.)'ın ALS ve ACCase grubu herbisitlere karşı dayanıklılık oluşturup oluşturmadığı denenmiş olup ACCase'a karşı dayanıklılık tespiti yapılmıştır (Sizer, 2013).

Buğdayın ana zararlısı olan *A. sterilis* ve *A. fatua* dışında diğer önemli yabancı otlara karşıda çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Topuz (2009) tarafından Marmara Bölgesinde yürüttüğü çalışmada buğday arazilerinde bulunan yabancı hardal (*Sinapis arvensis* L.)'ın buğday tarlalarında sulfonylüre grubu herbisitlere dayanıklılığı araştırılmıştır. Buğdayda *S. arvensis*'e karşı ALS grubu herbisitler testlenmiş, çapraz dayanıklılık durumu için ise 2,4-D ve triazin grubu herbisitlerle bioassay çalışmaları yapılmıştır. ALS grubunda oluşan dayanıklılıkta nokta mutasyon olup olmadığı da araştırılmıştır. Çalışma ayrıca Türkiye'de yapılan ilk moleküler çalışma olarak önem taşımaktadır.

Avcı (2009) Çukurova Bölgesi'ndeki buğday ekim alanlarında bulunan *Phalaris brachystachys* (kanlı çayır)'ın ALS ve ACCase grubu herbisitlere karşı oluşturmuş olduğu dayanıklılık durumunu araştırmıştır.

Bu çalışmada ayrıca 4 farklı yabancı ot-herbisit dayanıklılığı vakası rapor etmiştir.

Benzer bir çalışma ile 2016 yılında Tokat ili buğday yetiştirilen alanlarda kısır yabancı yulafın (*Avena sterilis* L.) farklı herbisitlere dayanıklılığı çalışmasında ACCase grubu iki herbisite karşı 2 farklı popülasyonda dayanıklılığın olduğu bioassay yöntemi ile tespit edilmiştir (Doğar, 2016; Doğar ve Kadioğlu 2016).

Erken (2016) yaptığı çalışmasında Orta Karadeniz Bölgesi'nde bulunan buğday alanlarında *Lolium* spp.'nin ALS ve ACCase inhibitörü herbisitlerine karşı dayanıklılık durumunu moleküler olarak incelemiş ve bu çalışma ile çapraz dayanıklılığın varlığı da tespit edilmiştir. Yine ALS gen bölgesinde mutasyonun gerçekleştiğini tespit etmiştir.

Boylu (2017) tilki kuyruğu olarak bilinen *Alopecurus myosuroides* (Huds.)'de herbisit dayanıklılığını ve basit dizi tekrarlarıyla birlikte genetik çeşitliliğini belirlemeye çalışmış, dayanıklı olan bireylerde SSR markerlar ile genetik farklılığın olup olmadığını araştırmıştır.

Başka bir çalışma ile Amasya, Çorum, Tokat ve Yozgat illeri buğday üretim alanlarında *Sinapis arvensis*'in tribenuron-methyl etken maddesine karşı gelişen dayanıklılık durumu araştırılmıştır. Farklı 310 lokasyondan toplanan yabancı hardal örneklerinden 13 popülasyonun dayanıklılık katsayısının yüksek olduğu tespit edilmiş, elde edilen sonuçlar doğrultusunda yapılan moleküler testlemelerde Trp-574 nolu aminoasitin Leucine aminoasitine dönüştüğü ve nokta mutasyonunun gerçekleştiği tespit edilmiştir (Şin, 2021; Sin ve Kadioğlu, 2021).

Amasya ve Çorum illerinde buğday alanlarda bulunan yabancı hardal (*Sinapis arvensis*)'ın 2,4-D+florasulam ve 2,4-D+dicamba aktif maddeli herbisitlere karşı dayanıklılık durumu araştırılmış, yapılan çalışma sonucunda 2,4-D+dicamba aktif maddesine sahip herbisite toplamda 9 popülasyonda, 2,4-D+florasulam etken maddeli herbisitte ise 16 popülasyonda dayanıklılık olduğu tespit edilmiştir (Çil Turgut, 2023).

Türkiye’de yoğun olarak herbisit kullanılan bir diğeri ise çeltik olup ülkemiz tarımı bakımından önemli bir kültür bitkisidir. Çeltikte yapılan çalışmalarda 2012 yılında *Cyperus difformis* L. (kız otu)’in sahip olduğu genetik çeşitliliği ve ALS grubu herbisitlere karşı dayanıklılığı önce moleküler ve daha sonra bioassay ile araştırılmıştır (Kaya ALtop, 2012). Yine aynı sene *Alisma Plantago-aquatica* L. (kurbağa kaşığı)’nın ALS inhibitörü herbisitlere dayanıklılığı tezde incelenmiştir (Budak, 2012).

Haghnama (2016) çeltik ekim alanlarında kullanılan bazı herbisitlere karşı *Echinochloa crus-galli* (L.) beauv. (darıcan)’nin dayanıklılık durumunu incelemiş İran ve Türkiye arasındaki dayanıklılık durumunu karşılaştırmıştır.

Pala (2014) tarafından Güneydoğu Anadolu Bölgesi pamuk alanlarında *Amaranthus* spp. türlerinin yoğunluklarının saptanması ile bazı biotiplerinin trifluraline dayanıklılığı araştırılmıştır. Yapılan bu çalışma ile 41 farklı popülasyonda dayanıklılık olabileceği bioassay yöntemiyle araştırılmıştır.

Akın (2021) tarafından Diyarbakır’da pamuk arazilerinde kanyaş (*Sorghum halepense*) bitkisinin quizalofop-P-Ethyl ve clethodim etken maddelerine dayanıklılığının saptanmaya çalışılmış ancak dayanıklılık gözlemlenmemiştir.

Çanakkale ili şeftali bahçelerinde pire otu (*Erigeron sumatrensis* Retz)’nun glyphosate ve metribuzine karşı dayanıklılığı araştırıldığında glyphosate’e karşı dayanıklılığın olduğu, metribuzine karşı ise dayanıklılık oluşmadığı bulunmuştur (İnci, 2019).

Türkiye’nin çeşitli bölgelerinden temin edilmiş olan pire otu (*Conyza bonariensis*, *C. sumatrensis* ve *C. canadensis*) türlerinin glyphosate’a duyarlılıkları 2019 yılında araştırılmış, *C. sumatrensis*’in daha az duyarlı olduğu, buna karşılık bitkiler geliştikçe glyphosate’e karşı dayanıklılıklarının arttığı saptanmıştır (Acar, 2019).

4.3.Diğer Kurum ve Kuruluşlarca Desteklenen Araştırmalar

Türkiye’de üniversitelerde yapılan çalışmalar dışında farklı kurum ve kuruluşlarca da çeşitli araştırmalar yapılmakta veya araştırma destekleri verilmeye çalışılmaktadır. Yapılan bu araştırma çalışmalarını genel olarak 2 temel başlık altına ayırmak mümkündür.

4.3.1.Tarım ve Orman Bakanlığı Destekli Bazı Araştırmalar

Üniversitelerce yapılan tez çalışmaları haricinde Tarım ve Orman Bakanlığı da Türkiye’deki dayanıklılık durumunun tespiti ve haritalandırılmasına yönelik çeşitli projelere sahiptir. Sahip olduğu projelerin bazıları Çizelge 4’te verilmiştir.

Çizelge 4. Tarım ve Orman Bakanlığı Tarafından Desteklenen Bazı Dayanıklılık Projeleri

Ankara, Konya ve Tokat illerinde buğday ekim alanlarında bulunan Yabani hardal (<i>Sinapis arvensis</i>) ve yabani yulaf’ın (<i>Avena fatua</i> ve <i>A. sterilis</i>) ALS ve ACCase inhibitörü herbisitlere karşı oluşturduğu dayanıklılık üzerine araştırmalar.
Osmaniye İli Buğday Ekim Alanlarındaki En Yaygın Kullanılan Herbisitlere Karşı Dayanıklılık Kazanmış Kısır Yabani Yulaf [<i>Avena sterilis</i> (L.)] Popülasyonlarının Belirlenmesi ve Haritalanması
Pestisitlere Karşı Direncin Tespiti, Haritalanması ve Yönetimi kapsamında alt proje olarak Kültür Bitkilerinde Sorun Olan Yabancı Otlarda Herbisitlere Dayanıklılığın Tespiti, Haritalanması ve Yönetimi
Mardin ve Şanlıurfa İlleri Buğday Ekim Alanlarında Sorun Olan Yabani Yulaf (<i>Avena</i> spp.) in ACCase ve ALS Grubu Herbisitlere Karşı Dayanıklılıklarının Belirlenmesi
Gaziantep İli Buğday Ekim Alanlarında Sorun Olan Kısır Yabani Yulaf (<i>Avena sterilis</i> L.) ve Yabani Hardal (<i>Sinapis arvensis</i> L.)’ın

ALS ve ACCase Grubu Herbisitlere Dayanıklılıklarının Tespiti ve Haritalanması
Tokat İli Buğday Ekim Alanlarında Sorun Olan Kokar Ot (<i>Bifora radians</i> Bieb.)'un ALS Grubu Herbisitlere Karşı Dayanıklılığının Tespiti ve Haritalanması
Ankara İli Buğday Ekim Alanlarında Sorun Olan Tilki Kuyruğu (<i>Alopecurus myosuroides</i> Huds.)'nun ACCase Grubu Herbisitlere Karşı Dayanıklılığının Tespiti ve Haritalanması
Balıkesir ve Çanakkale İlleri Buğday Ekim Alanlarında Sorun Olan Delice (<i>Lolium</i> sp)' nin ALS ve ACCase Grubu Herbisitlere Karşı Dayanıklılıklarının Tespiti ve Haritalanması
Adana İli Turunçgil Bahçelerinde Sorun Olan Pire Otu (<i>Conyza canadensis</i>)'nun Glyphosate'a Dayanıklılığının Tespiti ve Haritalanması
Kahramanmaraş İli Buğday Ekim Alanlarında Sorun olan Kısır Yabani Yulaf (<i>Avena sterilis</i> L.)'ın ACCase Grubu Herbisitlere Karşı Dayanıklılığının Tespiti ve Haritalanması
Orta Karadeniz Bölgesinde Buğday Ekim Alanlarında Sorun Olan Yabani Hardal (<i>Sinapis arvensis</i> L.)' ın ALS Grubu Herbisitlere Dayanıklılığının Tespiti ve Haritalanması
Isparta İli Elma Bahçelerinde Sorun Olan Pire Otu (<i>Conyza canadensis</i>)'nun Glyphosate'a Dayanıklılığının Tespiti ve Haritalanması
Diyarbakır İli Buğday Ekim Alanlarında Sorun Olan Yabani Hardal (<i>Sinapis arvensis</i> L.)'ın ALS İnhibitörü Herbisitlere Karşı Dayanıklılığının Belirlenmesi ve Haritalanması

Tokat İli Buğday Ekim Alanlarında Sorun Olan Dilkanatan Otu (*Galium aparine* L.)'nun ALS Grubu Herbisitlere Karşı Dayanıklılığının Tespiti ve Haritalanması

Trakya Bölgesi Ayçiçeği Ekim Alanlarında Sorun Olan Sirken (*Chenopodium album* L.)'in Imazamox'a Karşı Dayanıklılığın Haritalandırılması

4.3.2.Özel Sektör Çalışmaları

Dünyada ve Türkiye’de git gide önem kazanan dayanıklılık sonucuna karşı özel yer alan firmalarda farklı araştırmalara gerek teknik gerekse maddi boyutta katkı sağla maktadır. Bu konu hakkında özel sektörde yapılan çeşitli çalışmalar çeşitli iş birlikleri devam etmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Herbisitlerde dayanıklılık aynı etkili maddeli herbisit in veya etki mekanizması aynı olan herbisitlerin bir alanda sürekli ve kontrolsüz olarak kullanılması sonucunda ortaya çıkan bir durumdur. Yüksek doz uygulamaları herbisit dayanıklılığının tetiklenmesine sebep olabileceği gibi sürekli düşük doz uygulamaları da herbisit dayanıklılığına sebep olabiliyor.

Yabancı otlarda herbisit dayanıklılığı olgusu ilk olarak 1950’li yıllarda çıkmış olup özellikle son yıllarda bilimsel çalışmalarla hızlı bir artış göstermektedir. Herbisitlere karşı dayanıklı yabancı otların oluşması ilerleyen yıllarda çok daha büyük sorunlara neden olacağı endişesini ortaya çıkarmaktadır. Bu risk durumunun ortadan kalkması için öncelikli olarak farklı yöntemlerle kombine halde bir savaşım yöntemi belirlenmesi gerekmektedir. Devamında ise kullanılan herbisitlerde mutlaka etken madde bakımından münavebeye gidilmesi, bunun yanında ürün rotasyonunun yapılmasının mutlaka sağlanması gerekmektedir. Aynı herbisit in devamlı kullanılması veya doz hataları

nedeniyle hayatta kalan bireylerde herbisit dayanıklılığının oluşması kaçınılmaz bir sonuç olacaktır.

Gerekli önlemlerin alınmaması ve doğru savaşım yöntemlerinin kullanılmaması halinde dayanıklı yabancı ot popülasyonlarında mücadelesi zor olan yeni nesil yabancı otların türeyecektir. Dayanıklılık kazanmış bu yabancı otlar ile kültür bitkilerinin rekabete girme şansının olamayacağından çok yüksek oranda ürün kaybı yaşanacağı gerçeği göz önünde bulundurularak etkili mücadele yöntemleri ve ilaçlama programları mutlaka yapılması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- Acar, D., (2019). Meyve Bahçelerinde Görülen Şifa Otu Türlerinin (*Conyza* spp.) Belirlenmesi, Bu Türlerin Glyphosate'e Duyarlılıklarının Araştırılması ve Glyphosate Dayanıklılığının Yönetimi. Yüksek Lisans Tezi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın
- Akın, R., (2021). Diyarbakır İli Pamuk Tarlalarında Kanyaşın (*Sorghum halepense* (L.) Pers) Herbisitlere Dayanıklılığının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bitki Koruma Ana Bilim Dalı, Çanakkale
- Anonim, (2008). Ziraî Mücadele Teknik Talimatları. Cilt 6, Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikaları Genel Müdürlüğü Yayınları, 286s, Ankara
- Anonim, (2024). <http://www.weedscience.org> (Erişim Tarihi:06.06.2024)
- Avcı, Ç.M., (2009). Çukurova Bölgesi Buğday Ekim Alanlarında Sorun Olan *Phalaris brachystachys* Link. (Kanlı Çayır)'in Bazı Buğday Herbisitlerine Karşı Oluşturduğu Dayanıklılık Sorunlarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Ayata, M.U., (2014). Adana İli Buğday Ekim Alanlarında Kısır Yabani Yulaf (*Avena sterilis*)'ın Accase (Acetyl-Coa Carboxylase) Enzimi İnhibitörü Herbisitlere Karşı Oluşturduğu Dayanıklılığın Önemi Ve Dayanıklı Popülasyonların Haritasının Oluşturulması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Boylu, D., (2017). Tilki Kuyruğu (*Alopecurus mosuroides* Huds.) Yabancı Otunda Herbisit Dayanıklılığının ve Basit Dizi Tekrarlarıyla Genetik Çeşitliliğinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Budak, Ü., (2012). Çeltik Ekim Alanlarında Sorun Olan *Alisma plantago-aquatica* L. (Kurbağa Kaşığı)'Nın ALS İnhibitörü Herbisitlere Dayanıklılık Durumlarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Cobb, H. and Reade, J.P.H., (2010). Herbicides And Plant Physiology. Wiley-Blackwell Pub.284p.

- Cramer, H.H., (1967). Pflanzenschutz Und Welternte. Pflanzenschutz-Nachrichten "Bayer" 20:1-523, Leverkusen.
- Çil Turgut, N. (2023). Orta Karadeniz Bölgesi Buğday Ekim Alanlarında Sorun Olan Yabani Hardal (*Sinapis arvensis* L.)'ın Herbisitlere Dayanıklılık Durumunun Belirlenmesi ve Çimlenme Biyolojisinin Araştırılması. Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun
- Demirci, M., (1997). In Vitro Testlerde Trifluraline Karşı *Setaria Verticillata* (L.) P.B. 'nın Dayanıklılığının Saptanmasına Yönelik Bazı Çalışmalar. Türkiye II. Herboloji Kongresi, İzmir-Ayvalık: Bil.: 73-80.
- Doğar, G., (2016). Tokat İli Buğday Ekim Alanlarında Sorun Olan Kısır Yabani Yulafın (*Avena sterilis* L.) Bazı Herbisitlere Karşı Dayanıklılık Durumunun Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat
- Doğar, G., İ. Kadioğlu, (2016). Tokat İlinde Kısır Yabani Yulaf (*Avena sterilis* L.)'ın Bazı Herbisitlere Karşı Dayanıklılığının Belirlenmesi. Turkey 6th Plant Protection Congress with International Participation (Özet Bildiri/Sözlü Sunum) Konya
- Erken, S., (2016). Orta Karadeniz Bölgesi Buğday Ekim Alanlarında Sorun Olan *Lolium* spp.'nin ALS ve Accase İnhibitörü Herbisitlere Karşı Dayanıklılığının Moleküler Olarak Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Eymirli, S., (2024). Dayanıklılık ve Yönetimi. (Erişim tarihi: 06.07.2024) (<https://www.turkiyeherboloji.org.tr/herbisit.asp>)
- Haghnama, K., (2016). Türkiye ve İran Çeltik Ekim Alanlarında Kullanılan Bazı Herbisitlere Karşı *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. (Darıcan)'nın Dayanıklılık Durumunun Araştırılması. Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Heap, I., (2000). International Survey Of Herbicide-Resistant Weeds, The Occurrence of Herbicides Resistant Weeds by country, P.o. Box 1365, Corvallis, OR, 97339 HRAC.
- HRAC, (2024). <https://hracglobal.com/> (Erişim tarihi: 16.06.2024).

- Holt, JS. (1988). Reduced Growth, Competitiveness, and Photosynthetic Efficiency of Triazine-Resistant *Senecio vulgaris* from California, *Journal of Applied Ecology*, 307-318
- İnci, D. (2019). Çanakkale İli Şeftali Bahçelerindeki Uzun Pireotunun (*Erigeron sumatrensis* Retz.) Herbisitlere Dayanıklılığı, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale
- Kadioğlu, İ., (1991). Bitkilerde Herbisitlere Dayanıklılık. Adana Zir. Müc. Araş. Ens. Sem. :72- 93
- Kaya Altop, E., (2012). Çeltik Ekim Alanlarında Sorun Olan *Cyperus difformis* L. (Kız Otu)'ın Genetik Çeşitliliğinin ve ALS Grubu Herbisitlere Dayanıklılığının Moleküler ve Bioassay Yöntemlerle Belirlenmesi. Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun
- Moss, S.R., (2002). Herbicide Resistant Weeds. *Weed Management Handbook*, 225-252s.
- Özer, Z., Kadioğlu, İ., Önen, H. ve Tursun, N., (2003). Herboloji (Yabancıot Bilimi). Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:29, Ders Notları Serisi No: 10, 579s.
- Özercan, B., Taşçı, R. (2022). Türkiye’de Pestisit Kullanımının İller, Bölgeler ve Pestisit Grupları Açısından İncelenmesi. *Ziraat Mühendisliği*, (375), 75-88.
- Özörgücü, B., İ. Türkan, (1986). Herbisitlere dayanıklılık. *Tabiat ve İnsan*, 20 (1):43-46
- Pala, F., (2014). Güneydoğu Anadolu Bölgesi Pamuk Ekim Alanlarında *Amaranthus* spp. Yoğunluklarının Saptanması ve Bazı Biotiplerinin Trifluraline Dayanıklılığının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Prado, R. De, Jorin, J. and Garcia-Torres, L., (1997). *Weed and Crop Resistance To Herbicides*. Kluwer Academic Pub., London.340p.
- Sin, B, İ. Kadioğlu, (2021). Trp-574-Leu mutation in wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) as a result of als inhibiting herbicide applications. *PeerJ* 9:e11385 <https://doi.org/10.7717/peerj.11385>
- Şin, (2021). Amasya, Çorum, Tokat Ve Yozgat İllerinde Buğday Alanlarında Bulunan Yabani Hardal (*Sinapis arvensis* L.)’ın Tribenuron-Methyl’e Karşı

- Dayanıklılığının Araştırılması, Doktora Tezi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat
- Sizer, V., (2014). Diyarbakır İli Buğday Ekim Alanlarında Sorun Olan Kısır Yabani Yulaf'ın (*Avena sterilis* L.) Bazı Herbisit Gruplarına Karşı Oluşturduğu Dayanıklılığın Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Tepe, I., Y. Nemli, (1992). Yabancı otlarda herbisitlere dayanıklılık., Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, Vol.2, no.1, pp.158-178, 1992.
- Topuz, M., (2007). Marmara Bölgesinde Buğday Tarlalarında Bulunan *Sinapis arvensis* L. (Yabani Hardal)'in Sulfonylüre Grubu Herbisitlere Karşı Oluşturduğu Dayanıklılık Üzerine Araştırmalar. Doktora Tezi Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir
- Türkseven, S., Nemli Y., (2015). Türkiye'de *Avena fatua* L.'nın Herbisitlere Dayanıklılığı ile İlgili İlk Kayıt. Turk J Weed Sci, 18(2):1-11.
- Türkseven, S., (2011). Marmara Bölgesi Buğday Alanlarında Yabani Yulaf (*Avena fatua* L.) Ve Kısır Yabani Yulaf (*Avena sterilis* L.)'in Herbisitlere Dayanıklılığının Araştırılması, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir
- Uludağ, A., (2003). Doğu Akdeniz Bölgesinde Buğday Tarlalarındaki Yabani Yulafın Bazı Graminisitlere Karşı Oluşturduğu Dayanıklılık Üzerinde Araştırmalar. Doktora Tezi Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir
- Uludağ, A., Nemli, Y., Tal, A. ve Rubin B., (2007). Fenoxaprop Resistance in Steril Wild Oat (*Avena sterilis*) in Wheat Fields in Turkey. Crop Protection 26 (7), 930-935.
- Uzun, A., M. Topuz, (1997). Ege Bölgesi Pamuk Alanlarında Sorun Olan Bazı Yabancı Otların Populasyon Değişimi ve Trifluralin'e Duyarlılık Azalmasının Belirlenmesi Üzerinde Araştırmalar. Türk. II. Herb. Kong. Bil., İzmir-Ayvalık : 417-425.
- Yücel, E., (2004). Çukurova Bölgesi Buğday Ekim Alanlarında Sorun Olan Kısır Yabani Yulaf (*Avena sterilis* L.)'in Bazı Herbisitlere Karşı Ortaya Çıkan Dayanıklılık Sorunlarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

BÖLÜM 15

TEK SAĞLIK YAKLAŞIMINDA BİTKİ KORUMANIN YERİ VE ÖNEMİ

Doç. Dr. Cem ERDOĞAN¹
Prof. Dr. Özlem DARCANSOY İŞERİ²
Prof. Dr. Füsun EYİDOĞAN³

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13767935>

¹ Başkent Üniversitesi, Gıda Tarım ve Hayvancılığı Geliştirme Enstitüsü, Ankara, Türkiye, cm Erdogan@yahoo.com, Orcid ID: 0000-0001-9537-3536

² Başkent Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Ankara, Türkiye, oiseri@gmail.com, Orcid ID: 0000-0002-3394-2518

³ Başkent Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Ankara, Türkiye, fusunie@baskent.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-9595-1789

GİRİŞ

Birleşmiş Milletler tarafından 15 Kasım 2022'de yapılan açıklamaya göre, dünya nüfusu 8 milyarı aşmış olup (Anonim 2024a), dünyanın gördüğü en kabalık nüfusu hep birlikte yaşamaktayız. İnsanlar, hatta kıtalar arası etkileşimlerin giderek artması enfeksiyöz ajanların mutasyona uğramasına ve salgın hastalıkların daha hızlı ortaya yayılımına yol açmaktadır. Tarihte farklı dönemlerde Kara veba, kolera, İspanyol gribi, Hong Kong gribi, tifo, domuz gribi ve COVID-19 gibi pek çok salgın hastalıkların yaşandığı bilinmektedir (Tekin, 2021). Bunun yanı sıra insanların hayat kalitesinin düşmesi, yeterli ve doğru beslenememe, temiz su kaynaklarının azalması ve iklim değişiklikleri gibi sebepler de salgın hastalıkların önünü açmaktadır. Sağlık sorunlarına yönelik “Tek Sağlık” yaklaşımına duyulan kritik ihtiyaç, bugün her zamankinden daha fazladır. Tek Sağlık yeni bir kavram olmamakla birlikte, günümüzde tüm dünyada bütün paydaşların işbirliği içerisinde olduğu bir yaklaşımla, insan, hayvan, bitki ve çevre sağlığının sürdürülebilir bir şekilde korunmasını hedeflemektedir. Tek Sağlık Üst Düzey Uzman Paneli (OHHLEP) tarafından insanların, hayvanların ve ekosistemlerin sağlığını sürdürülebilir bir şekilde dengelemeyi ve optimize etmeyi amaçlayan entegre, birleştirici bir yaklaşım olarak tanımlanmaktadır (Anonim 2024b). Bununla birlikte, “Tek Sağlık” kavramı genellikle zoonotik hastalıkların kontrolü bağlamında insan ve hayvan sağlığı önceliğinde tartışılırken bitki sağlığı ve çevresel kaygıların bir adım geride kaldığı dikkat çekmektedir (Destoumieux-Garzon ve ark. 2018; Gibbs 2014).

İnsan, evcil ve yabani hayvan, bitki ve daha geniş anlamıyla çevre sağlığı birbiriyle bağlantılı olup, her bireyin hakkı olan sağlıklı ve sürdürülebilir gıda, çevre ve temiz suya erişimin temelini oluşturmaktadır. Elbette ki tek sağlık alanında da, gıda güvenliği ve güvenilirliği en az insan sağlığı kadar tüm ülkelerin önem verdiği stratejik bir alandır. Bu nedenle, Tek Sağlık, sağlık ve refahı sağlamak

ve korumak için en uygun yaklaşım olarak giderek daha fazla kabul görmektedir (Anonim 2024c). Bu kapsamda, Tek sağlık yaklaşımına duyulan ihtiyacı vurgulamak amacıyla her yıl 3 Kasım günü “**Dünya Tek Sağlık Günü**” olarak kutlanmaktadır.

Bugün maalesef artan dünya nüfusu ile birlikte, toplumlar yeni ortaya çıkan bulaşıcı hastalıklar ve salgınlar, zoonotik hastalıkların yükü, çevre kirliliğinin etkileri, artan antimikrobiyal direnç, bitki sağlığında kullanılan pestisitlere direnç ve kalıntı tehdidi gibi pek çok sağlık riski ile karşı karşıya kalmaktadır (Anonim 2024d). Tek Sağlık yaklaşımı, aynı zamanda temiz su, enerji ve hava, güvenli ve besleyici gıda, iklim değişikliği konusunda harekete geçme ve sürdürülebilir kalkınmaya katkıda bulunma gibi kolektif ihtiyaçları da ele almaktadır. Avrupa Birliği (AB) tarafından 11 Aralık 2019 tarihinde ilan edilen Avrupa Yeşil Mutabakatının (European Green Deal) nihai hedeflerinin de Tek Sağlık yaklaşımının sürdürülebilirliğine çok önemli katkılar sağlayacağı aşikardır (COM, 2019). Türkiye’de başta Sağlık ve Tarım ve Orman Bakanlığı olmak üzere ilgili bakanlıklar tarafından Tek Sağlık alanında çok çeşitli çalışmalar yürütülüyor olması oldukça önemli olup, bu konuya 12. Kalkınma Planı içerisinde de yer verilmiştir.

Dünya genelinde yapılan çalışmalara baktığımızda, gelecekteki salgınları önlemeye ve Tek Sağlık yaklaşımı yoluyla sağlığı sürdürülebilir bir şekilde geliştirmeye yönelik olarak Birleşmiş Milletler (BM) Dörtlü Kuruluş (Quadripartite) FAO (BM Gıda ve Tarım Organizasyonu), WOA (BM Dünya Hayvan Sağlığı Örgütü), UNEP (BM Birleşmiş Milletler Çevre Programı) ve WHO (BM Dünya Sağlık Teşkilatı) BM üye devletlerini Tek Sağlık yaklaşımını operasyonel hale getirmek için bir dizi öncelikli eylemi benimsemeye çağırılmaktadır. Bu Tek Sağlık Ortak Eylem Planı Dörtlü Kuruluş Müdürleri tarafından 27 Mart 2023 tarihinde, ilk Dörtlü Yürütme Yıllık Toplantısı sırasında imzalanmıştır.

Ayrıca 2022 ila 2026 yıllarını kapsayan Tek Sağlık Ortak Eylem Planı ve Planının ulusal düzeyde uygulanmasına yönelik uygulama kılavuzu da yayımlanmış bulunmaktadır (Anonim 2022a). Bu plan ve kılavuz incelendiğinde, Eylem Planının, küresel Tek Sağlık sisteminin geliştirilmesine yardımcı olduğu, yayınlanan kılavuzun ise, ülkelerin önceliklerine göre Tek Sağlık mekanizmasının ulusal düzeyde nasıl kurulup işletileceğine yönelik bir yol haritası niteliğinde olduğu anlaşılmaktadır.

WHO Avrupa Bölgesi antimikrobiyal dirence ilişkin 2023-2030 yol haritası, antimikrobiyal direnç ile mücadelede yüksek etkili müdahalelerin belirlenmesi, önceliklendirilmesi, uygulanması ve izlenmesi için bölge ülkelerine rehberlik etmek ve desteklemek amacıyla 26 Ekim 2023 tarihinde Kazakistan'ın başkenti Astana'da düzenlenen 73. WHO Avrupa Bölge Komitesinde onaylanmıştır. Bu yol haritasının temelinde kapsayıcılık, geniş ortaklıkların ve ittifakların teşvik edilmesi ve Tek Sağlık yaklaşımı altında çeşitli paydaşların ve bakış açılarının daha fazla temsil edilmesi için çaba gösterilmesi yatmaktadır.

Tek Sağlık yaklaşımında bitki korumanın yeri ve öneminin anlaşılması için tarımın ve tarımda bitki korumanın gerekliliğinin anlaşılması önem arz etmektedir.

Tarım ve Tek Sağlık İlişkisi

Günümüzden on iki bin yıl önce tarım bu coğrafyada keşfedilmiştir. Bu keşif insanoğlunun yapmış olduğu tüm zamanların en önemli keşfidir. Nitekim insan topluluklarının ilk kez tarım yapmasıyla gerçekleşen ve bu toplumların sosyo-ekonomik yapılarında devrimsel dönüşümler yaratan süreçler “tarım devrimi” ya da “neolitik devrim” olarak nitelendirilmektedir. Tarımın keşfi insanlık tarihinde teknolojik gelişmelere katkı sağlayan bütün keşiflerin öncüsü olmuştur. İnsan topluluklarının ilk kez tarım yapmasıyla toplumlar avcı-toplayıcı yapıdan yerleşik toplum yapısına dönüşmeye başlamıştır. Yerleşik

toplum yapısı köy ve kasabaların kurulmasını da beraberinde getirmiş ve bu yapılanmalar doğal çevrelerin de değişimine vesile olmuştur. Yerleşik düzene geçiş ve kentleşme ile birlikte nüfus artışının gözlemlendiği yeni bir dönemin başlangıcı olmuştur. Artan nüfus, toplumların ve doğal çevrelerin değişimi toplumların gereksinimlerini de geliştirmiş ve teknolojik gelişmelere zemin olmuştur. Kısacası bugün yaşadığımız teknolojik gelişme seviyesinin temeli tarıma dayanmaktadır.

Dünyada tarım artık küresel ölçekte pek çok zincir ve sektörün yer aldığı kompleks bir yapıya dönüşmüş bulunmaktadır. Tarımsal üretim sadece bitkilere ya da hayvanlara bağlı bir olay değildir. Aslında gıda, tarım ve hayvancılık çok geniş bir alanı kapsamaktadır. Bitkisel ve hayvansal üretimin çevre üzerindeki baskıları hafifletecek biçimde, biyoçeşitliliği koruyarak aynı zamanda da sürdürülebilir olarak gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Tarımsal üretim sonrasında ise gıda sektörü işin içerisine girmektedir. Gıda sektörünün de ürünün işlenmesi, ambalajlanması, pazarlanması, lojistiği, elektrik, elektronik ve dijital teknolojiler gibi pek çok alt bileşeni bulunmaktadır. Bunlara ilaveten günümüzde birçok ilacın hammaddesini bitkiler oluşturmakta ve tıbbi ve aromatik bitkilerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Biyolojik bilimlerde ve malzeme bilimlerinde gelişen yeni teknolojiler zincirin halkalarına biyoteknoloji ve nanoteknolojinin de eklenmesini sağlamıştır. Bütün bu süreçlerin istihdama önemli katkısı bulunmakla birlikte, ekonomiye de önemli katma değer sağlanmaktadır. Tarım sanayi devrimine kadar geleneksel yöntemlerle yapılırken bu tarihten sonra makineleşmenin başlamasıyla tarımsal üretimde daha yenilikçi yöntemler kullanılmaya başlamıştır. Tarımda önemli bir gelişme de ikinci dünya savaşından sonra yaşanmış ve modern tarım tekniklerinin kullanımı yaygınlaşmıştır. Örneğin, DDT ilk kez 1874 yılında Avusturyalı kimyager Othmar Zeidler tarafından sentezlenmiş ve böcek öldürücü etkisi 1939'da İsviçreli kimyager Paul Hermann Müller tarafından keşfedilmiştir. DDT'nin keşfi sentetik tarım ilaçlarının

kullanımına öncülük etmiş ve yaygınlaştırmış, bu da tarımsal üretimde verim ve kalitede artışa neden olmuştur. Bu nedenle, bu döneme Yeşil Devrim adı verilmiştir. Yeşil Devrim ile başlayan tarımsal üretimde verim ve kalite artışına rağmen, BM Raporuna göre Küresel açlık rakamları 2021'de 828 milyona yükselmiş bulunmaktadır (Anonim 2022b). Yani 828 milyon insan maalesef açlıkla mücadele etmektedir. Diğer yünden, 2022 yılında 2,5 milyar yetişkinin aşırı kilolu olduğu, bunlardan 890 milyonunun ise obezite problemi yaşadığı kaydedilmiştir (WHO 2024).

Günümüzde devletlerin sorumluluklarından birisi de gıda ve sağlık alanının düzenlenmesi ve yönetimi konusu olarak kabul edilmektedir. Bilindiği üzere gıda üretimi tarımsal üretim sürecinden bağımsız düşünülemez ve sağlıklı gıda üretimi de ancak doğru tarımsal faaliyetlerle gerçekleştirilebilir. Bu sebeple tarım-gıda-sağlık zinciri yani üretim-beslenme-sağlık ilişkisi makro ölçekte birlikte değerlendirilmeli ve aynı vizyonla yönetilmelidir. Çünkü tarihi ve bilimsel veriler, hatalı tarımsal üretimden sağlıklı gıdalar elde edilemeyeceğini ve sağlıklı beslenmeyen bir toplumun sağlık sorunlarının çözümünün kolay ve kalıcı olamayacağını göstermektedir (Birişik 2019).

Tarım sektörü, gıda talebindeki artış, hızla artan dünya nüfusu, erozyon, tuzlanma ve yoğun kullanımla birlikte verimli tarım arazilerinin tüm dünyada azalması, küçük aile işletmeciliği nedeniyle arazi yapısının parçalı olması, kırsal kalkınma, kırsal nüfusun kente göçü, tarımsal mekanizasyon eksikliği, biyolojik çeşitlilikteki kayıp, toprak ve su kaynaklarının korunması, sürdürülebilirliği, çevre kirliliği, tarımsal plastik atıklar, iklim değişikliği, kuraklık, bitkisel üretimi kısıtlayan zararlıların artması, kullanılan bitki koruma ürünlerine (BKÜ) direnç, BKÜ'lerin parazitoid, predatör ve tozlayıcı böcekler üzerine olumsuz etkileri, kalıntı, verim düşüklüğü, tarımda nitelikli işgücü eksikliği, tarımsal girdi fiyatlarındaki artışlar, tarımsal destekleme politikaları ve

genç nüfusun tüm dünyada tarımdan uzaklaşması gibi pek çok yerel ve küresel risklerle karşı karşıya bulunmaktadır (Erdoğan, 2021; 2024a,b).

Bunlara ilaveten tarımın keşfinden itibaren insanoğlu tarımsal üretimde verim ve kalite kaybına neden olan hastalık, zararlı, yabancı otlarla ve depolanmış ürünlerde görülen hastalık ve zararlılarla mücadele etmiş ve etmeye de devam edecektir. Örneğin, patates mildiyösü ya da patates geç yanıklığı etmeni *Phytophthora infestans*'ın (Mont.) neden olduğu İrlanda Patates Kıtılığı (1845-1852) nedeniyle İrlanda'da çok sayıda can kaybı yaşanmıştır. Bu hastalık Avrupa'da başka ülkelerdeki patateslerde de görülmüş ancak İrlanda'daki kadar yoğun olmamıştır. Yaşanan kıtlık neticesinde Osmanlı İmparatorluğu'nun İrlanda'ya aynı ve nakdi yardımda bulunduğu kayıtlara geçmiştir (Doğan & Kaplan, 2021). Günümüzde tarımsal üretimin %26 ila %40'ı hastalık, zararlı ve yabancı otlar nedeniyle kaybedilmekte olup, eğer mücadele yapılmazsa bu oran iki katına çıkabilmektedir (OECD/FAO, 2012). İlk dönemlerde tarımsal zararlılarla mücadelede daha çok bitkisel kökenli piretrin, nikotin ve rotenon gibi insektisitleri kullanılmış ancak güneş ışığı altında hızla parçalandıkları için yaygın olarak kullanılmamışlardır (Mathews, 2006).

Ülkemizde tarımda 165 bitkisel üründe 661 zararlı organizma mevcut olup (Anonim, 2024e), resmi olarak bu zararlılardan 340'tan fazlasıyla mücadele yürütülmektedir. Dünyada ve ülkemizde tarımsal üretimde verim ve kaliteyi etkileyen tarımsal zararlılarla mücadelede en çok kullanılan yöntemin kimyasal mücadele olduğu ve tarım ilaçlarının (Bitki Koruma Ürünlerinin; BKÜ) kullanımının giderek arttığı görülmektedir (Özercan & Taşçı 2022; Erdoğan, 2024b). BKÜ'lerin kullanımının giderek artması, uygulanmasının diğer mücadele yöntemlerine göre daha kolay oluşu, kısa sürede etkisini göstermesi ve hedef zararlıları kontrol altına almasından kaynaklanmaktadır. BKÜ kullanımının avantaj ve dezavantajları mevcut olup, zararlılarla mücadelede kullanılacak BKÜ'lerin sürdürülebilir biçimde,

biyoçeşitliliği koruyarak, insan ve çevre sağlığı açısından herhangi bir olumsuz etki oluşturmayacak şekilde kullanılması gerekmektedir. BKÜ'lerin doğru teşhis edilmiş zararlılara karşı, doğru zamanda, doğru dozda ve kalibrasyonu yapılmış doğru ekipmanla kullanılması gerekmektedir. BKÜ'ler kullanılmadan önce Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından onaylanmış bulunan ilaç etiketinin mutlaka okunması ve etikette yer alan tavsiyelere titizlikle uyulması gerekmektedir. Kimyasal mücadelenin insan ve çevre sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle, BKÜ kullanımının özensiz ve bilinçsizce değil, aynı zamanda biyolojik çeşitliliğin korunmasına yardımcı olacak şekilde bilim, akıl ve bilgiye dayalı olarak sürdürülebilir bir şekilde kullanılması gerekmektedir (Erdoğan, 2021; 2024a,b).

Dünyada ve Türkiye’de Bitki Koruma Ürünleri

Türkiye’de BKÜ sektörüne baktığımızda 173 adet firmanın bulunduğunu görmekteyiz. Üretim tesisi sayısı 54 olup, 342 adet ruhsatlı aktif madde bulunmaktadır. Ruhsatlı BKÜ sayısı 5210 olup, 80 adet ruhsatlı biyolojik kontrol ajanı ve yine 111 adet te ruhsatlı biyoteknik kontrol ürünü bulunmaktadır (Erdoğan 2024b). AB uyum çalışmaları ve bilimsel gelişmeler kapsamında 36’dan fazla klorlandırılmış hidrokarbonlu BKÜ 1980’li yıllarda yasaklanmış olup, 2009 yılından bu yana da 223 aktif maddenin kullanımı sonlandırılmış olup, bir aktif maddenin de kullanımı ciddi olarak kısıtlanmış bulunmaktadır (Anonim, 2023e; Erdogan 2024b). 2022 yılında Türkiye’de toplam BKÜ kullanım miktarı 55.374 ton olup, bu tüketimin %22.04’sini insektisitler, %26.28’sini herbisitler, %35.11’ini fungusitler, %4.44’sini akarisitler ve %12.10’ini diğer BKÜ’ler oluşturmaktadır (Erdoğan 2024b). Gıda Kontrol Genel Müdürlüğü tarafından açıklanan son verilerde 2023 yılında BKÜ kullanımının miktarı 57.766 ton olmuştur (Anonim 2024g). Türkiye’de ekili alan başına pestisit kullanımı ise 2.22 kg olmuştur.

Dünyada ise 2021 yılında ekili alan başına pestisit kullanımı 2,26 kg (kg ha-1) olmuştur (FAO 2023). BKÜ kullanımında, Amerika

kıtasının, Asya, Avrupa, Afrika ve Okyanusya'nın önünde en büyük BKÜ kullanıcısı olduğu anlaşılmaktadır. ABD'de, tarımda pestisit kullanımı 2021'de yüzde 2 artışla 1,78 milyon tona yükselmiştir. BKÜ kullanımının en fazla olduğu ülke Çin olup, sırasıyla Japonya, Hollanda, Belçika, İtalya ve Brezilya takip etmektedir. Asya kıtasında 2021 yılında 980 kiloton BKÜ kullanmıştır. Kıta aynı zamanda en fazla BKÜ ihraç eden bölge olmuştur (17,3 milyar ABD doları). Afrika'da pestisit kullanımı 2021 yılında 204 kt'a yükselmiştir. Avrupa kıtasında BKÜ kullanımı 2021 yılında 505 kt'a olmuştur (Erdoğan 2024b).

Tek Sağlık Yaklaşımı ile Avrupa Birliği Yeşil Mutabakatı İlişkisi

Avrupa Birliğinin 11 Aralık 2019 tarihinde ilan etmiş olduğu Avrupa Birliği Yeşil Mutabakatı dikkate alındığında BKÜ, gübre ve antimikrobiyal gibi kimyasalların kullanımını azaltacak önlemlerin kararlılıkla alınması hedeflenmektedir (COM 2019). Bitki sağlığı açısından AB mevzuatının amacı, pestisitlerin kullanımının tamamen kaldırılması olmayıp, bağımlılığın azaltılması, alternatif yöntemlere öncelik verilmesi ve düşük riskli ya da biyolojik pestisitlerin kullanımının yaygınlaştırılması yoluyla insan ve çevre sağlığı üzerine olan baskının minimuma indirilmesidir (COM 2023).

AB daha adil, sağlıklı ve çevre ile uyumlu bir gıda sistemi kapsamında “Çiftlikten Çatala Stratejisini” belirlemek için bir eylem planı yayınlamıştır (COM, 2020). Çiftlikten çatala stratejisinin amacı biyolojik çeşitliliği koruyarak, sağlıklı ve sürdürülebilir bir gıda sistemi oluşturmaktır. Strateji belgesini incelediğimizde, 2030 yılına kadar AB ülkelerinde pestisit kullanımının %50 azaltılması, “Pestisitlerin Sürdürülebilir Kullanımı Direktifinin” revize edilmesi, çiftlik hayvanları ve balık çiftliklerinde antimikrobiyal satışının %50 azaltılması ve kimyasal gübre kullanımının %20 oranında azaltılması hedeflenmiştir. Avrupa'da toplam tarım alanları içerisinde organik tarımın payının %25'e çıkartılması, özellikle sağlıklı ve sürdürülebilir gıda sistemlerinin

oluşturulması için yürütülecek araştırma ve geliştirme faaliyetleri, yeni girişim ve yatırımlar için toplam 10 milyar avro'luk bir kaynağın sağlanması, kara ve denizlerin %30'unun özel koruma alanlarına dönüştürülmesi, biyoçeşitliliği korumak ve iklim değişikliğiyle mücadele için 3 milyar adet yeni fidan dikilmesi ve kriz dönemlerinde gıda tedariki ve güvenliğinin sağlanması için "olağanüstü durum senaryoları" oluşturulması amaçlanmaktadır (COM, 2020; Erdoğan, 2021). 1 Aralık 2023 tarihinde Avrupa Parlamentosunun "Bitki koruma ürünlerinin sürdürülebilir kullanımına ilişkin (AB 2021/2115 sayılı) Yönetmelik Değişiklik Taslağını reddetmesinin ardından müzakerelerin nasıl sürdürüleceği konusunda AB Tarım Bakanları ikiye bölündü. Bu bölünmenin, hassas alanlarda bitki koruma ürünlerinin kullanımına ilişkin kısıtlamalar ve pestisit kullanımının azaltılmasına yönelik ulusal hedefler ile ilgili olduğu belirtilmektedir (Anonim 2024f). Bu gelişme, Ukrayna ile Rusya arasındaki savaş gibi jeopolitik belirsizlikler, enerji ihtiyacı, COVID-19 gibi küresel riskler AYM hedeflerinde ve öngörülen takvimlerde bazı güncellemelerin kaçınılmaz olduğunu göstermektedir.

Tek Sağlık Yaklaşımı ile Bitki Sağlığında Kullanılan Pestisitlere Direnç Arasındaki İlişki

Bitkileri sağlıklı yetiştirebilmek, üretimin verim ve kalitesini arttırmak için yapılan faaliyetlere kısaca bitki koruma faaliyetleri diyebiliriz. Yukarıda da açıklanmaya çalışıldığı üzere Bitki Sağlığı ile Tek Sağlık yaklaşımı arasında kuvvetli bir ilişki bulunmaktadır. Antimikrobiyal direnç için kullanılan "sessiz salgın" deyimini bitki sağlığında kullanılan BKÜ'lere karşı görülen direnç için de kullanabiliriz.

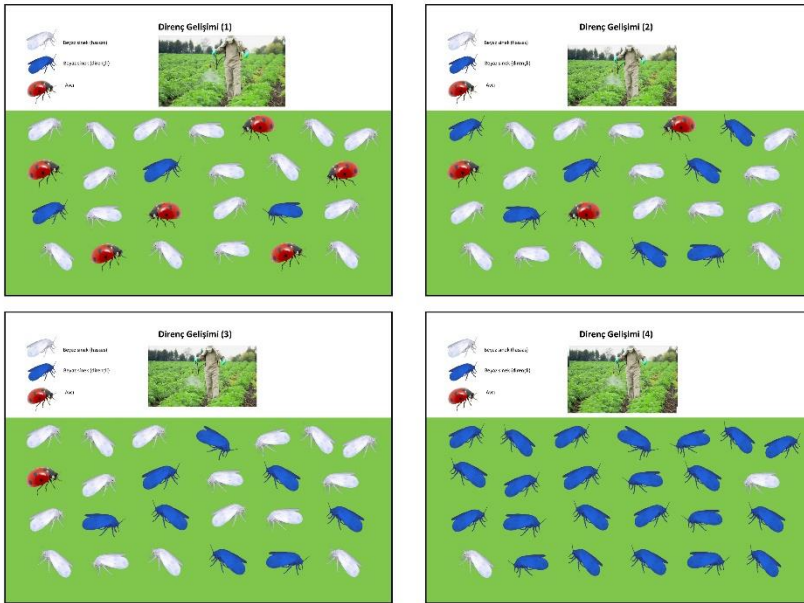
Böceklerde ve diğer arthropod türlerinde bir asırdan uzun bir zaman önce keşfedilen pestisitlere direnç, günümüz modern tarımının yüz yüze kaldığı, dünya genelinde bitkisel üretim ve insan sağlığı üzerinde etkileri olan ve giderek büyüyen bir sorundur (Mota-Sanchez 2020). Böceklerde direnç terimi, ilk kez San Jose Kabuklubiti için

kullanılmış olup kükürt-kireç karışımından eskisi kadar etkilenmediğinin tespit edilmesiyle ortaya çıkmıştır (Melander, 1914). 1914 ila 1946 yılları arasında toplam 11 zararlı türü, pestisitlere direnç kazanmıştır. DDT gibi sentetik organik insektisitlerin bulunmasından sonra tarımsal endüstri derin bir nefes almış ve insektisitlere direnç probleminin artık geçmişte kaldığı düşünülmüştür. Bu düşünce 1947 yılında, DDT'ye dirençli karasinek popülasyonlarının tespit edilmesi ile birlikte ortadan kalkmıştır (Forgash, 1984). 1990'larda 500'ün üzerinde türün dayanıklı hale geldiği kaydedilmiştir (Soderlund, 1997). Günümüzde Amerika Birleşik Devletleri Michigan State Üniversitesinin oluşturduğu "The database of arthropods resistance to pesticides" verilerine göre tüm dünyada 349 bileşiğe karşı, 612 türde 17.000'den fazla direnç vakası görüldüğü kaydedilmiştir (Mota-Sanchez, 2020). 100'den fazla bitki patojeni direnç geliştirmiştir. International Herbicide-Resistant Weed Database verilerine göre dünya genelinde 272 türde (155 dikotiledon ve 117 monokotiledon) 531 herbisit dirençli yabancı ot vakası bulunmaktadır. Yabancı otlar, bilinen 31 herbisit etki mekanizmasından 21'ine ve 168 farklı herbisite karşı direnç geliştirmiştir. Herbisite dirençli yabancı otlar 72 ülkede 100 üründe rapor edilmiştir (Anonim 2024g). Ayrıca vektörlerde, nematod ve sıçanlarda bir veya birden fazla pestisite karşı direnç gelişimi tespit edilmiş durumdadır. Dünya çapında 72'den fazla ülkede pestisitlere direnç gelişimi bulunmakta, bu da pestisit direncini küresel bir sorun haline getirmektedir.

Pestisitler kullanımı neticesinde sıtma vb. hastalıkları bulaştıran vektör böceklerle yürütülen mücadelelerdeki başarılar neticesinde birçok insan hayatı kurtarılmıştır. Ancak bilinçsiz ve yoğun kullanımları nedeniyle kamuoyunda kimyasal pestisitlerin insan sağlığı, çevre ve biyolojik çeşitlilik üzerine olan potansiyel yan etkileriyle ilgili endişeler de yükselmektedir. Bu nedenle, BKÜ'lerin sürdürülebilir bir şekilde Entegre Zararlı Yönetimi çerçevesinde, bilgiye dayalı olarak çevreyle

uyumlu ve biyolojik çeşitliliği koruyacak şekilde uygulanması gerekmektedir (Erdoğan, 2021).

Şekil 1’de özetlendiği gibi doğal bir popülasyon içerisinde frekansı oldukça düşük olan dirençli bireyler uygulanan seleksiyon baskısı nedeniyle kısa bir süre zarfında popülasyonda dominant hale gelmektedir.



Şekil 1. Pestisitlere direnç gelişiminin evreleri

Direnç konusunda değişik tanımlamalar mevcuttur. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) insektisit uzmanlar komitesi direnci “bir türün normal bir popülasyonundaki bireylerin çoğunu öldürdüğü ispatlanan bir insektisit dozunu, aynı böceğin diğer bir ırkının tolere etme yeteneğinin gelişmesi” olarak tanımlamıştır (Brown, 1958). Avrupa ve Akdeniz Bitki Koruma Örgütü (EPPO) ise “tarla koşullarında doğal olarak ortaya çıkan, normal koşullarda etkili olan bitki koruma ürünü uygulamasında, hedef popülasyon içindeki bireylerin yaşamlarını sürdürme yeteneklerindeki kalıtsal değişim” şeklinde direnci açıklamaktadır (Anonymous,

2015a). Amerikan Çevre Koruma Örgütüne (EPA) göre ise direnç “zararlı popülasyonlarında pestisitlere karşı kalıtsal ve dikkate değer olarak ortaya çıkan hassasiyet azalması, pestisit tarladaki performansının azalması” şeklinde tarif edilmektedir (Anonymous, 2015b). Böceklerde görülen hızlı direnç gelişimi böceklerin genetik yapıları ve yoğun pestisit uygulamalarının bileşimi ile ortaya çıkmaktadır. İnsektisitlerin kullanımı sonucu direnç genlerine sahip böcekler seçilerek hayatta kalmakta ve direnci alt döllere aktarmaktadırlar. Hassas böcekler insektisitler tarafından elimine edilirken, popülasyondaki dirençli böceklerin oranı giderek artmakta ve pestisitler artık etkili olamamaktadır. Zararlılarda görülen hızlı direnç gelişimi, böceklerin ne kadar hızlı üreme kapasitesine sahip olduğuna, zararlıların göç ve konukçu dizisine, bitki koruma ürünlerinin kalıcılığı, özellikleri ile yapılan uygulamanın oranına, zamanlaması ve sayısına bağlıdır (Anonymous, 2015c).

Böceklerde görülen direnç mekanizmaları dört grupta incelenmektedir (Ünal ve Gürkan, 2001).

1. **Metabolik direnç:** Dirençli böcekler detoksifikasyon enzimleri kullanarak belirli bir insektisiti hassas böceklerden daha hızlı detoksifiye edebilir ve insektisit bileşiklerinin toksik etkilerini hızla bertaraf edebilirler.
2. **Hedef bölge direnci:** Dirençli popülasyonlarda insektisit böceklerde etki ettiği hedef bölge insektisit bağlanmasını veya etkileşime girmesini önlemek için genetik olarak değiştirilebilir, böylelikle bağlanamayan pestisit etkisi azalır veya ortadan kaldırılır.
3. **Penetrasyon direnci:** Dirençli böceklerin kütikulası insektisitleri hassas böceklere göre daha yavaş absorbe eder.

4. Davranışsal direnç: Dirençli böcekler mevcut insektisitlerin mevcudiyetini tespit edebilir veya tanıyabilir ve buldukları yerden uzaklaşırlar.

Tarımsal zararlılar, çoğu zaman bu mekanizmalardan bir veya birkaçını aynı anda kullanabilirler. Günümüzde BKÜ'ler hala tarımsal zararlı popülasyonlarının baskı altına alınmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle entegre mücadelenin önemli bir bileşeni olan direnç yönetiminin özellikle ana zararlılara karşı titizlikle uygulanması gerekir.

Burada bir parantez açmak gerekirse, ülkemizde direnç yönetimine temel oluşturacak bazı düzenlemeler yapılmış ve 23.03.2010 tarih ve 27530 sayılı “Bitki Koruma Ürünlerinin Sınıflandırılması, Ambalajlanması ve Etiketlenmesi Hakkında Yönetmelik” kapsamında başlayarak bitki koruma ürünlerinin etiketlerine ilaçların etki mekanizmalarını gösteren bilgilerin eklenmesi sağlanmıştır. Bu düzenleme daha sonra yapılan mevzuat revizyonlarında da devam ettirilmiştir (Erdoğan, 2021). Bu yöntemle aynı gruptan ilaçların, aynı zararlıya karşı art arda kullanımı önlenebilecektir.

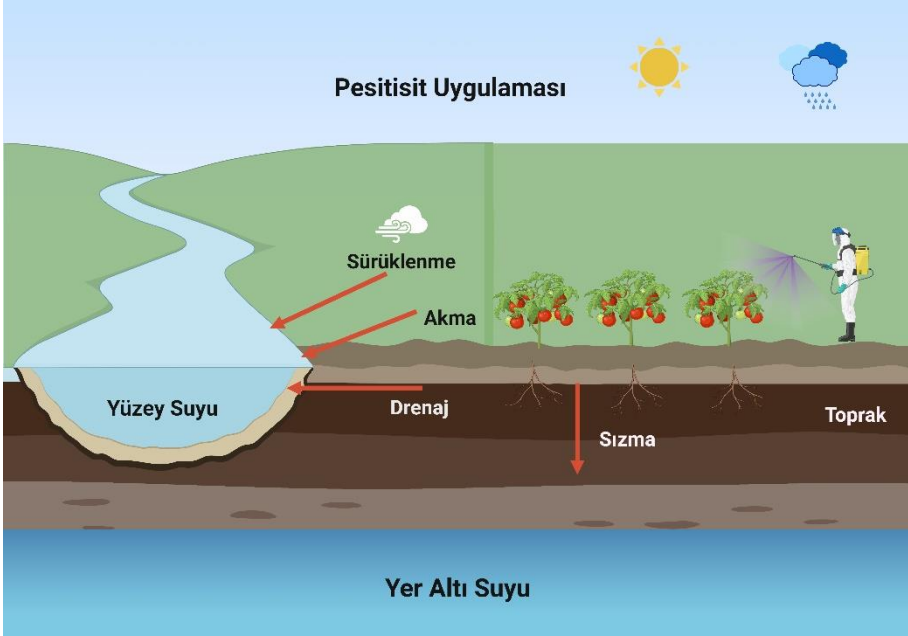
Direnç Gelişiminin Sonuçları

Direnç gelişimi sonucunda BKÜ'lerin etkisizliği görülmekte ve üreticiler ilk iş olarak ilaçlama sayısını ve kullanım dozunu arttırmaktadırlar. BKÜ'ler bilinçsiz ve yanlış kullanıldığında insan, bitki ve çevre sağlığını olumsuz yönde etkileyerek, doğal dengeyi bozmaktadırlar. BKÜ'ler yeraltı ve yer üstü sularına bulaşırlar, buharlaşarak havaya karışırlar ve yağış ile yeniden sisteme girerler. Toprakta birikerek toprak mikroorganizma popülasyonlarını olumsuz etkiler ve bitkiler tarafından absorbe edilirler. Aynı zamanda bilinçsiz kullanım nedeniyle kalıntı oluşturarak insanların, çevrenin ve hedef olmayan canlıların sağlığını tehdit ederler. Halk sağlığı kapsamında sıtma, dang humması, Zika, Batı Nil Virüsü, Afrika uyku hastalığı ve

şark çıbanı gibi hastalıklar vektör böcekler vasıtasıyla bulaşmaktadır. Günümüzde vektör böceklerle bulaşan hastalıklara karşı (örneğin sıtma) mücadelede insektisitler kullanılmakta olup, yakın gelecekte de kullanılmaya devam edeceği öngörülmektedir. Vektör böceklerde oluşabilecek direnç gelişimi ise maalesef milyonlarca kişinin ölmesine neden olabilecektir. Tarımsal üretimde BKÜ'lere maruz kalma nedeniyle çoğunluğu gelişmekte olan ülkelerde olmak üzere 2,2 milyon üreticinin risk altında olduğu tahmin edilmektedir. Tehlikeli pestisitler, düşük gelirli ülkeler de dahil olmak üzere insan sağlığı ve çevre için önemli riskler oluşturmaktadır. BM Çevre Programı (UNEP), her yıl 200.000 kadar insanın pestisit zehirlenmesinden öldüğünü tahmin edilmektedir. Uygulanan ilaç dozu ve uygulama sayısı artacağı için, ilaçlama sırasında uygulayıcılar gerekli tedbirleri almadığında ve doğru Kişisel Kullanım Ekipmanlarını (KKE) kullanmadıklarında ve ilaç etiketinde yazan BKÜ kullanırken dikkat edilecek hususlara uymadıklarında akut veya kronik zehirlenmelere maruz kalacaklardır.

BKÜ'lerin bilinçsiz ve yanlış kullanımı direnç gelişimi beraberinde insan ve çevre sağlığını da pek çok yönden olumsuz etkilemektedir (Delen ve ark., 2005; Erdoğan ve ark., 2007; Koç & Yardım, 2019, Erdoğan 2024a,b). Aşırı dozda ve sık ilaçlama nedeniyle tüketilen besinlerde kalıntıya sebep olarak insan sağlığının direkt etkilenmesine neden olurlar. İnsanlarda kronik olarak akciğer kanseri, mesane kanseri ve lösemi riskini artırırlar. Bu sağlık problemlerine ilaveten organofosforlu pestisitler, merkezi sinir sisteminde öğrenme ve hafıza fonksiyonlarını da içeren nöropatolojik oluşumlar gibi pek çok hastalığın gelişmesine neden olabilir. İhraç edilen tarımsal ürünlerde Maksimum Kalıntı Limitlerinin (MRL) üzerinde kalıntı nedeniyle geri bildirimler ve ürünlerin geri dönmesi söz konusu olabilmektedir. Parazitoid-predatörler gibi doğal düşmanların, balarıları ve tozlayıcı böceklerin ve toprakta yaşayan organizmaların üzerinde olumsuz etkileri olabilmektedir. Bunlara ilaveten, yeraltı sularının kirlenmesine,

sürüklenme, yağmur ve sulama suyu ile toprak yüzeyinden akararak ve drenaj ile akarsu, dere, nehir ve diğer su kaynaklarını kirleterek, balıklar ve suda yaşayan (algler, su pireleri, sucul bitkiler gibi) canlıların olumsuz etkilenmesine, hatta bu canlıların kitle halinde ölümlerine yol açabilmektedirler (Şekil 2). Aynı şekilde kuşlar ve yaban hayvanlarına da olumsuz etkileri olmaktadır. Sonuç olarak, bilinçsiz BKÜ kullanımı biyoçeşitlilik kaybını da beraberinde getirmektedir.



Şekil 2. Bitki Koruma Ürünlerinin çevredeki döngüsü

Tarım ilaçlarının aşırı kullanımı hastalık, zararlı ve yabancı otlarda direnç seviyelerinin artmasına neden olarak kısır bir döngüye sebep olur. Tarımsal ürünlerde fitotoksisiteye sebep olarak, verim ve kalite kaybına neden olmaktadır (Erdoğan 2024a,b). Tarım ilaçlarının çok yoğun olarak kullanılmaya başlandığı yıllarda, Rachel Carson tarafından yazılan 'Sessiz Bahar' adlı kitap, bilim insanlarının ve kamuoyunun çevre kirliliğine ilişkin tutumunu değiştirmede bir dönüm noktası olarak kabul edilmektedir (Carson, 1962). Carson'un bu eserinden sonra tarımsal

zararlılarla mücadelede, modern bir yöntem olan Entegre Zararlı Yönetimi stratejisi doğmuştur diyebiliriz.

Zararlı böceklerde, hastalıklarda ve yabancı otlarda görülen direnç çalışmalarının dinamik bir konu olduğu ve tüm dünyada önemli bir tarımsal sorun olup yıldan yıla ve bölgeden bölgeye değişiklik gösterebildiği bilinmektedir. Çünkü BKÜ'ler kullanılmaya devam etmekte ve bu da direnç gelişim riskini beraberinde getirmektedir. Bu nedenlerle, direncin izlenmesi ve direncin mekanizmaları ile çapraz direnç durumlarının detaylı olarak ortaya konulması Entegre Zararlı Yönetimi programlarının da temel bir bileşenidir. Direnç problemi ile ilgili en önemli aşama, düzenli aralıklarla izleme yapılarak olabildiğince erken dönemde tespit edilmesidir. Direnç yönetiminin temel amacı dirençli zararlıların BKÜ veya BKÜ gruplarına maruz kalmasını en aza indirmektir. Direncin ekonomik boyutu incelendiğinde, Amerika Birleşik Devletlerinde insektisit direnci nedeniyle ilaçlama maliyetlerine ya da alternatif mücadele yöntemlerinin üzerine 40 milyon dolar daha toplam insektisit faturası yükü getirdiği tahmin edilmektedir.

Bir pestisit bulunuşundan piyasa sunulmasına kadar **8-10 yıl** süre geçmekte ve yaklaşık **250 milyon** dolar harcanmaktadır. Bu kadar uzun zaman ve masrafla elde edilen bir BKÜ'nün direnç nedeniyle 2 ila 20 yıl içerisinde etkisizliği görülebilmektedir. Artık yeni etki mekanizmalı bileşikler nadiren geliştirilebilmektedir. Bu durum tarım ilaçlarının sürdürülebilir kullanımı önünde bir engel oluşturmaktadır. Entegre Zararlı Yönetimi (IPM) sürdürülebilir tarımın bir bileşeni olarak kabul edilmektedir. Entegre Zararlı Yönetimi programlarının sürdürülebilirliği ise tarım ilaçlarının sürdürülebilir kullanımı ile direnç yönetimi programlarına bağlıdır. Tam bu noktada bitki koruma uygulamalarının ihtisas alanına girmektedir. Bu nedenle, Avrupa Birliği'nin ruhsatlandırma direktifine göre bir bitki koruma ürününün ruhsatlandırılması aşamasında istenen belgeler içerisinde hedef zararlının direnç durumu ve gerekli direnç yönetim stratejisi ile ilgili

bilgilerin dosyasında yer alması da gerekmektedir. Sürdürülebilir BKÜ kullanımı, direnç yönetimi ve entegre zararlı yönetimi gibi modern bitki koruma uygulamaları, tarımsal üretim ve çevre sağlığı Tek Sağlığın sürdürülebilirliği için ayrılmaz bileşenlerdir. Sürdürülebilir BKÜ kullanımı konusunda gerekli önlemler alınmadığı sürece, çevre, insan sağlığını koruyabilmek, gıda güvenliğinden ve Tek Sağlıktan söz edebilmek mümkün değildir. Bu nedenle, sürdürülebilir BKÜ kullanımı ve özellikle direnç yönetimi konusunda her ülkenin mutlaka kendi önemli agroekosistemleri için stratejiler geliştirmesi ve uygulaması gerekmektedir. Bu stratejilerde tüm BKÜ'ler için direnç risklerinin değerlendirilmesi, risk yönetimi, agroekosisteme giriş hassasiyetinin belirlenmesi, ruhsatlandırma sonrası izleme ve performans değişikliklerinin takibi gibi konular yer almalıdır.

Sonuç ve öneriler

Direnç yönetiminin ilk basamağı hedef zararlıda aynı etki mekanizmasına sahip olan BKÜ'lerin art arda kullanılmasının önlenmesidir. BKÜ'ler kullanılırken mümkün olduğu kadar popülasyonların yoğun olduğu dönemlerin hedef alınmasına özen gösterilmelidir. Doğru teşhis edilmiş zararlılara karşı, doğru zamanda, doğru dozda, doğru kalibrasyonu yapılmış, doğru ekipmanla etikette yer alan tavsiyelere göre kullanılması gerekmektedir.

BKÜ'lerin etkinliğini belirleyen çok sayıda faktör olduğu gerçeğinin unutulmaması gerekmektedir. Bu faktörler aynı zamanda direncin de sebeplerini oluştururlar. Dirençle ilgili problemleri olabildiğince erken dönemde saptamak oldukça büyük önem taşımaktadır. Eğer bu sağlanamazsa, problemi çözmek oldukça güçleşecek ve beraberinde çok önemli sağlık ve çevresel sorunları getirecektir. Güvenilir bir direnç izleme yönteminin, direnç probleminin önceden tahmin edilmesi, kaydedilmesi ve mücadelesinin gerçekleştirilebilmesi için bir gereklilik olduğuna hiç şüphe yoktur. İzleme çalışmalarının özellikle yeni etki mekanizmalı BKÜ'ler üzerine

yoğunlaşması gerekmektedir. Ayrıca, Entegre Zararlı Yönetimi stratejilerinin bir parçası olarak, doğal düşmanların korunması ve arttırılmasını hedefleyen, yeni etki mekanizmalı pestisitlerin etkinliğinin sürdürülebilirliğini amaçlayan, gerektiğinde konvansiyonel pestisitlerin rotasyonlarının ya da karışımlarının kullanılabilmesine olanak veren, yeni ve etkili mücadele stratejilerinin geliştirilmesine yönelik olan, etkin bir direnç yönetim stratejisinin oluşturulması gerekmektedir. Etkin ve kalıcı bir direnç yönetimi modelinin oluşturulabilmesi için ise, mutlak suretle elde ettiğimiz verilerin değerlendirileceği, karar alıcıların, özel sektör temsilcilerinin, üreticilerin, üniversitelerin ve uygulayıcıların katılımı ile oluşturulacak bir programa ihtiyaç bulunmaktadır. İlgili kişi ve kuruluşların bir araya gelerek bu tip bir programı hayata geçirmeleri gerektiği kanaatindeyiz. Yoğun insektisit baskısı altında bulunan zararlılar için, mevcut durumların ortaya konulması ve gerekli önlemlerin alınmasının, ülkemiz tarımının sürdürülebilirliği açısından gerekli olduğu görülmektedir (Erdoğan ve ark. 2007) .

Bir diğer önemli konu da iklim değişikliğinin beraberinde yeni zararlı, hastalık ve yabancı ot türlerini getirecek olmasıdır. Bu yeni zararlıların doğal düşmanları bulunmadığı için ciddi epidemik riskleri ile karşı karşıya kalılabileceğinin de dikkate alınması gerekmektedir. Bu durum da beraberinde yoğun BKÜ kullanımını ve problemlerini getirecektir. Aynı zamanda kuraklığa ve tuza dayanıklı yeni bitki çeşitlerinin geliştirilmesine ihtiyaç bulunmaktadır. Bu kapsamda, güvenli biyoteknoloji uygulamalarının gıda ve tarım sektörüne entegrasyonuna her zamankinden daha fazla ihtiyaç bulunmaktadır. Ayrıca BKÜ kullanımını düşürmeye yönelik olarak entegre zararlı yönetimini daha da yaygınlaştırmamız gerekmektedir.

Tek Sağlık açısından son derece önemli konulardan bir tanesi de boş BKÜ, gübre ambalaj ve tarımsal plastik atıkların toplanması ve imhası çalışmalarıdır. Bu çalışmaların mutlak suretle ülke geneline yaygınlaştırılması gerekmektedir. Bu konuda Tarım ve Orman Bakanlığı

tarafından geliştirilen BKÜ ve gübre takip sistemleri destekleyici olmaktadır. Sıfır atık hedefi ve geri dönüşüm konusunda boş BKÜ ambalajlarının toplanması ve imhası çalışmalarının arttırılması Tek Sağlık hedefleri doğrultusunda ülkemiz tarımını ve çevreyi güçlendirici önemli adımlar olacaktır.

Teşekkür

Kitap bölümü içerisindeki şekillerin hazırlanmasındaki katkılarından dolayı Öğr. Gör. Özge Yıldırım Gürses (Başkent Üniversitesi Kurumsal İletişim Koordinatör Yardımcısı) ve Buse Öncel'e (Başkent Üniversitesi Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü) teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- Anonymous,(2015a). [ww.eppo.int/PPPRODUCTS/resistance/resistance.htm](http://www.eppo.int/PPPRODUCTS/resistance/resistance.htm). Son erişim tarihi: 22 Haziran 2015.
- Anonymous, (2015b). [http://www.epa.gov/agriculture/tpes.html#Pest Resistance](http://www.epa.gov/agriculture/tpes.html#Pest%20Resistance). Son erişim tarihi: 22 Haziran 2015.
- Anonymous, (2015c). <http://www.irc-online.org/documents/moa-classification/?ext=pdf> Son erişim tarihi: 22 Haziran 2015.
- Anonymous, (2022a). ONE HEALTH JOINT PLAN OF ACTION (2022-2026). 86p. Rome
- Anonymous, (2022b). BM Raporu: Küresel açlık rakamları 2021'de 828 milyona yükseldi
- Anonim, (2024a). [https://www.un.org/en/global-issues/population#:~:text=Day%20of%20Eight%20Billion,a%20milestone%20in%20human%20development\),](https://www.un.org/en/global-issues/population#:~:text=Day%20of%20Eight%20Billion,a%20milestone%20in%20human%20development),)
- Anonim, (2024b). “Tek Sağlık Yaklaşımını Güçlendirmek İçin Çok Taraflı Koordinasyon Mekanizması”nın Kurulmasına Yönelik Ulusal Çabaların Artırılması Çalıştayı 14-15 Aralık 2023 Ankara/Türkiye. 59 s.
- Anonim, (2024c). <https://www.who.int/news/item/27-03-2023-quadripartite-call-to-action-for-one-health-for-a-safer-world>.
- Anonim, (2024d). <https://www.who.int/news/item/27-03-2023-quadripartite-call-to-action-for-one-health-for-a-safer-world>.
- Anonim, (2024e). 2024 Yılı Bitki Sağlığı Uygulama Programı. https://www.tarimorman.gov.tr/Konu/1803/Bitki_Sagligi_Uygulama_Programi_Kitaplari (Alınma Tarihi: 28.05.2024).
- Anonim, (2024f). Yıllar İtibarıyla Bitki Koruma Ürünlerinin (Gruplara Ayrılmış Olarak) Kullanım Miktarları, 2006-2023. <https://www.tarimorman.gov.tr/GKGM/Menu/115/Resmi-Tarimsal-Ilac-Istatistikleri> (Alınma Tarihi: 28.05.2024).
- Anonim, (2024g). International Herbicide-Resistant Weed Database. <https://www.weedscience.org/Home.aspx>. Alınma Tarihi: 28.05.2024).

- Birişik, N. (2019). Küresel ve Ulusal Ölçekte Tarım ve Gıda Politikaları “Gerçekler, Sorunlar ve Çözüm Önerileri”. DH basın yayın matbaacılık. ISBN 978-605-85250-2-3çankaya ankara; 304 s
- Brown, A. W. A. (1958). Insecticide resistance in arthropods. WHO Monograph Series, No: 38, Switzerland, pp: 240.
- Carson, R. (1962). Silent Spring. Houghton Mifflin. Boston, Massachusetts
- COM, (2019). The European Green Deal. Brussels, 11.12.2019 640 final. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en. (Alınma Tarihi: 21.10.2021).
- COM, (2020). A Farm to Fork Strategy for a fair, healthy and environmentally friendly food system. https://food.ec.europa.eu/system/files/2020-05/f2f_action-plan_2020_strategy-info_en.pdf (Alınma Tarihi: 22.07.2020).
- COM, (2023). Evaluation of Regulation (EC) No 1107/2009 on the placing of plant protection products on the market and of Regulation (EC) No 396/2005 on maximum residue levels of pesticides. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0208>. (Alınma Tarihi: 30.11.2023).
- Delen, N., Durmuşoğlu, E., Güncan, A., Güngör, N., Turgut, C., & Burçak, A. (2005). Türkiye’de Pestisit Kullanımı, Kalıntı ve Organizmalarda Duyarlılık Azalışı Sorunları. Türkiye Ziraat Mühendisliği 6 İnci Teknik Kongresi, Ankara. Türkiye, 3 - 7 Ocak 2005, ss.1-21.
- Destoumieux-Garzon, D, Mavingui P, Boetsch G, Boissier J, Darriet F, Duboz P, Fritsch C, Giraudoux P, Le Roux F, Morand S, Paillard C, Pontier D, Sueur & C, Voituren Y. 2018.The one health concept: 10 years old and a long road ahead.Front Vet Sci.;5:14.
- Doğan Kader, M., & Kaplan, K. A. (2021). İrlanda Patates Kıtlığı’nın Osmanlı Basımına Yansımaları (1845-1852). Tarih İncelemeleri Dergisi, 36(2), 497-526. <https://doi.org/10.18513/eketid.1050199>
- Erdoğan, C., Velioglu, A. S., & Gürkan, M. O. (2007). Bitki koruma ürünlerinin ruhsatlandırılması aşamasında yapılan risk değerlendirmeleri. Tarım İlaçları Kongre ve Sergisi, Ankara, Türkiye, 25-26 Ekim 2007, ss. 190-201.

- Erdoğan, C. (2021). Sürdürülebilir Bitki Koruma Uygulamaları, Biyoçeşitlilik ve Öngörüler. In: Pakdemirli, B., Sivritepe, H. O., Bayraktar, Z., Takmaz, S. Editors. Pandemi Sonrası Yeni Nesil Tarım. Ankara: Sonçağ Yayıncılık Matbaacılık; p.71-110;
- Erdoğan, C. 2024a. Entegre Zararlı Yönetimi Programlarında Kullanılacak Bitki Koruma Ürünlerinin Risk Değerlendirmesi ve Seçimi. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 21(1), 277-284. <https://doi.org/10.33462/jotaf.1397837>.
- Erdoğan, C. 2024b. Türkiye’de ve Dünya’da Bitki Koruma Ürünlerinin Kullanımının Değerlendirilmesi ve Öneriler. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım Ve Doğa Dergisi, 27(2), 382-392. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.a.vi.1402605>.
- FAO, (2023). Pesticides use and trade, 1990–2021. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0208>. (Alınma Tarihi: 30.11.2023).
- Forgash, A. J. 1984. History, evolution, and consequences of insecticide resistance. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 22, 178-186.
- Gibbs, EPJ. 2014. The evolution of One Health: a decade of progress and challenges for the future. *Veterinary Record.*;174(4):85–91.
- Matthews, G. A. (2006). *Pesticides: Health, Safety and The Environment*. Blackwell publishing. 235 p.
- Melander, A. L. (1914). Can insects become resistant to sprays? *Journal of Economic Entomology*, Volume 7, Issue 2, 1 April 1914, Pages 167–173, <https://doi.org/10.1093/jee/7.2.167>
- Mota-Sanchez, D. (2020). Knowledge is Power in the Fight Against Pesticide Resistance. *Scientia*, 6p. www.scientia.global DOI: 10.33548/SCIENTIA567
- OECD/FAO, (2012). OECD-FAO Agricultural Outlook 2012, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/agr_outlook-2012-en. (Alınma Tarihi: 10.08.2020).
- Soderlund, D. M. (1997). Molecular mechanisms of insecticide resistance. In: *Molecular Mechanisms of Resistance to Agrochemicals* (ed. Sjut, V.). Springer, 21-56, Germany.

- Tekin, A. (2021). Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi
Yıl: 2021/2, Sayı: 40, s. 330-355
- Ünal, G. & Gürkan, M. O. (2001). İnsektisitler-kimyasal yapıları, toksikolojileri ve
ekotoksikolojileri. Ethemoglu Ofset Matbacılık, 159 sayfa. Ankara.
- WHO, (2024). Obesity and overweight. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>

BÖLÜM 16

KUZEY KIBRIS'TA TOHUMDAN HASADA ARPA (*Hordeum vulgare* L.) FUNGAL HASTALIKLARI

Dr. Hakan HEKİMİHAN¹

Zir. Yük. Müh. Ayda KONUKSAL²

Zir. Yük. Müh. Nazife ARAP³

Zir. Yük. Müh. Hüseyin KARANFİLOĞLU⁴

Prof. Dr. Celalettin GÖZÜAÇIK⁵

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13767939>

¹Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü, İzmir, Türkiye, hakan.hekimhan@tarimorman.gov.tr, Orcid ID: 0000-0002-6531-6490

² Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Lefkoşa, KKTC, aydakonuksal1@gmail.com, Orcid ID: 0000-0002-1250-4447

³ Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Lefkoşa, KKTC, narapadak@hotmail.com, Orcid ID: 0009-0007-4559-9271

⁴ Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Lefkoşa, KKTC, huseyinkaranfiloglu@yahoo.com, Orcid ID: 0000-0003-4804-366x

⁵ Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Iğdır, Türkiye, gcozuacik46@gmail.com, Orcid ID: 0000-0002-5643-7663

GİRİŞ

Kıbrıs adası 32-34 doğu meridyenleri ile 34-35 Kuzey paralelleri arasında ve Akdeniz'in kuzeydoğusunda yer alır. Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti (KKTC)'nin yüzölçümü 3298 km²'dir. Tüm adanın yüzölçümü ise 9251 km² olup, Akdeniz'in 3. Büyük adasıdır. Türkiye'nin 60 km güneyinde, Suriye'nin 96 km batısında ve Mısır'ın 385 km kuzeyinde yer almaktadır. Adanın kuzeyinde, doğu-batı doğrultusunda uzanan ve en yüksek noktası 1000 m olan Beşparmak dağları yer alır. Bu dağlar doğuya kadar uzanarak Karpaz yarımadasını oluşturur. Adanın orta kısmında en yüksek noktası 2000 m olan Trodos dağları yer alır. Bu iki dağ silsilesi arasında geniş Mesarya Ovası bulunmaktadır. Bu ova kıyılardaki dar alüviyal karakterdeki ovalarla, adanın tarımsal arazisini oluşturur. Akdeniz ikliminin hüküm sürdüğü Kıbrıs'ta kışlar ılık ve yağışlı, yazlar ise sıcak ve kurak geçmektedir.

KKTC yarı kurak (semiarid) bir ülke olup düzensiz yağış almaktadır. İrmak ve gölleri yoktur. Yazları kuruyan birkaç deresi bulunmaktadır. Tarımda su en önemli faktör olup, su kaynakları tamamen yağışa dayanmaktadır. Esas su kaynaklarını oldukça fakir olan yer altı kaynakları oluşturmaktadır. Son 25 yıldan beri yer altı su kaynaklarında devamlı bir düşüş kaydedilmekte olup önemli akiferler deniz suyu tarafından işgal edilmektedir.

Türkiye'nin 2023 yılı vizyonunu yansıtan, Dünya'nın en büyük projelerinden biri olan "KKTC Su Temin Projesi" ülkenin su alanında büyük vizyonunu da yansıtan muazzam bir proje olup 17.10.2015 tarihinde işletmeye alınmıştır. Aslen KKTC içmesuyu temin projesi olan ve Dünya'da eşi ve benzeri olmayan muazzam bir projedir. KKTC'ye iletilen yıllık 75 milyon m³ suyun yarısı içme ve kullanma suyu olarak, kalan diğer yarısı ise sulama suyu olarak kullanılmak üzere planlanmıştır. Projenin deniz geçişi, 80 bin 151 metre uzunluğunda olup, deniz yüzeyinden 250 metre derinlikte ve askılı boru sistemiyle geçirilmiştir. Deniz geçişi 1600 milimetre çapındaki, yüksek yoğunluklu

polietilen boru hattından oluşmaktadır. Su, Türkiye tarafında 24 kilometre, deniz geçişinde 80 kilometre ve KKTC tarafında 3 kilometre olmak üzere toplam 107 kilometre uzunluğundaki boru hattı vasıtasıyla KKTC'ye ulaştırılmıştır. Proje kapsamındaki Alaköprü ve Geçitköy barajları 2014 yılının mart ayında, deniz geçişi ise dünyada ilk kez uygulanan askıda boru hattı ile 7 Ağustos 2015'te tamamlanmıştı. Askılı boru sistemiyle Alaköprü Barajı'ndan alınan su, ilk kez 24 Eylül 2015 'de KKTC tarafında inşa edilen Geçitköy Barajı'na iletilmiştir (Anonim, 2020). Sulama kanalları tamamlanıp proje tamamen bittiğinde toplamda 71.540 dekar arazi sulanabilecek, böylece ürün çeşitliliği ve verimliliği artacak, ülke ekonomisinde gelir artışı sağlanarak KKTC'de hayat kalitesinin ve refahının artırılması sağlanmış olacaktır (Şekil 1).



Şekil 1. KKTC su temin projesi

(Kaynak: <https://www.veyseleroglu.com.tr/projeler/kktc-sutemin-projesi>)

KKTC üretiminde ihracatında ve ulusal gelirin dağılımında önemli bir sektör olan tarım, ülkenin sosyo-ekonomik yapısında önemli bir yer tutmaktadır. Ülke nüfusu 2009 yılı tahminlerine göre 283.000 ve yaratılan GSMH'nin %7,46 sı bu sektörden karşılanmaktadır. Milli ihracatın yaklaşık %30'unu tarım sektörü oluşturmaktadır. KKTC'nin 329,890 hektarlık toplam alanının %56,71'ine tekabül eden 187.068

hektarı tarım arazisini oluşturmaktadır. Tarım sektörü bitkisel üretim, hayvancılık, ormancılık ve su ürünleri alt sektörlerinden oluşmaktadır. Sulu ziraat yapılan arazinin önemli bir kısmını turuncgiller ve yaprağını döken meyveler, üzüm ve çeşitli sebzeler oluşturmaktadır. Geriye kalan arazi ise geleneksel kuru ziraat yapılan tarla bitkileri alanlarıdır. Hayvancılık ülkenin bütün bölgelerine yayılmış olup hayvansal ürünlerin çiftçilik içerisindeki payı yaklaşık %45,66'dır. Hayvancılık sığırcılık, koyun ve keçicilik ile tavukçuluktan oluşmakta ve genellikle iç tüketimi karşılamaktadır. Balıkçılığın GSMH'ya katkısı %0,46 ve ormancılığın ise %0,13'tür.

Tarımsal üretimde sürekli ve temel amaç; kaynakları optimum ve rasyonel bir şekilde kullanmak sureti ile ürünlerde verimi artırmak, üreticinin üretim gücünü en üst seviyeye çıkararak iç piyasa için mal arzını istikrarlı ve uygun şartlarda sağlamak, iç tüketim fazlası ürünlerin dış satımı ile bu kesimden yaşamını sürdüren nüfusun hayat standardını ve milli gelirdeki tarım sektörünün payını dengeli bir şekilde yükseltmek ve ayrıca istikrarlı arz-talep-fiyat dengesini oluşturarak ulusal ekonomiye katkıda bulunmaktır (Serinol ve ark, 2010).

Ada ülkesinin en büyük problemi tarımın olmazsa olmazı su kıtlığıdır. Bu yüzden tarımsal üretim belirli bölgelerde ve belirli ürünlerde sıkışmıştır. KKTC nin ada ülkesi olması ikliminin erkencilik açısından çok iyi olması ve adaya Türkiye'den suyun gelmesi ve üretime aktarılması ile KKTC'yi tarımda çok önemli bir konuma getirecektir. Şu anda suyun kısıtlı olmasından dolayı suya ihtiyacı az olan tarla bitkileri ağırlıklı bir tarım deseni mevcut olup 2019 yılı Tarım ve Doğal Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre ülke genelinde hububat ekiliş alanları Tablo 1'de verilmiştir. Bu veriler yıllar itibarı ile azalma ve artışlar gösterebilmektedir.

Kuru tarım arazisi olarak tahıl ekilişi Çizelge 1'de görüleceği üzere 660.380 dönüm (1 dönüm= 1338 m²) olup, toplam ada alanının %27'sini oluşturmaktadır. Bunun dışında 84.745 dönüm tarla alanı nadasa

birakılmakta, 94.837 dönüm alanda ise baklagiller yetiştirilmektedir. Çizelge 1'den görüleceği üzere ülkede arpa üretimi 545.005 dönüm ekim alanı ile oldukça yüksektir. Toplam ekilen hububat içerisinde %82,5 gibi yüksek bir orana sahiptir. Su temin projesinden sulamaya açılacak alanların sebze ve meyve alanlarına öncelik verileceğinden bu oranın değişmesi beklenmemektedir.

Tablo 1. KKTC Hububat ekim alanları (Anonim, 2019)

Ürünler	Buğday		Arpa		Yulaf		Toplam Alan
	Bölgeler	Alan*	Verim (kg/da)	Alan	Verim (kg/da)	Alan	
Lefkoşa	13.025	218	151.936	207	-	-	164.961
Gazi Magosa	31.642	209	228.820	235	300	-	260.762
Girne	8.200	283	44.693	237	50	240	52.943
Güzelyurt	1.523	253	32.800	210	20	200	34.343
İskele	56.600	231	78.921	228	3.325	248	138.846
Lefke	650	215	7.835	230	40	175	8.525
TOPLAM	111.640	227	545.005	225	3.735	227	660.380

*Dönüm=1,338 m²

1. KKTC DE ARPA ALANLARINDA TESPİT EDİLEN FUNGAL HASTALIKLAR

KKTC de yürütülen sürvey çalışmaları sonucunda hastalığa özel simptomlardan makroskobik ve özel inceleme gerektiren durumlarda mikroskobik olarak yapılan laboratuvar teşhisleri sonucunda tespit edilen fungal hastalıklar arpa bitkilerinin değişik gelişme dönemlerinde ve değişik bitki aksamlarından elde edilmiştir.

KKTC'de arpa ekim alanlarında fungal hastalıklarla ilgili 2012-2016 yılları arasında yapılan araştırma çalışmalarında ve daha sonrasında makroskobik ve mikroskobik olarak; 17 cinse ait 33 tür hastalık etmeni tespit edilmiştir (Tablo 2) (Konuksal ve ark., 2017; Hekimhan ve ark., 2018a). Bu fungal hastalık etmenleri arpa bitkisinin kök (kök ve kök boğazı), yeşil aksam (sap, yaprak ve başak) ve tohum kısımlarında olmak üzere 3 kategoride değerlendirilmiştir.

Küresel iklim değişikliği ve tarım alanlarında gerçekleşen kültürel işlemlerde (sulama, toprak işleme, gübreleme, çeşit değişimi vs.) oluşan ve oluşacak değişimler nedeniyle çevresel faktörlerin de etkisiyle bu hastalık etmenlerinin bulunuş ve şiddetleri de zamanla değişim gösterebilir.

Hastalık etmenlerinin ürün üzerine olan olumsuz etkileri; çevre koşulları, gübreleme ve sulama, ekim tarihi, ekim derinliği, çeşit gibi faktörlere bağlı olarak hastalığın erken ya da geç dönemde ortaya çıkmasına bağlı olarak artar veya azalır.

Tablo 2. KKTC arpa ekim alanlarında tespit edilen fungal hastalıklar

Fungus*	Bulunduğu Bitki Aksamı	Bulunma oranı (%)	Hastalık Şiddeti (%)
<i>Alternaria alternata</i> <i>Torula alternata</i> <i>Ulocladium consortiale</i> <i>Alternaria tenuis</i> <i>Macrosporium fasciculatum</i> <i>Alternaria fasciculata</i> <i>Alternaria rugosa</i> <i>Alternaria triticina</i> <i>Alternaria tenuissima</i> <i>Helminthosporium tenuissimum</i> <i>Macrosporium tenuissimum</i> <i>Clasterosporium tenuissimum</i>	Tohum, kök, yeşil aksam	45	5
<i>Bipolaris sorokiniana</i> <i>Helminthosporium sativum</i> <i>Drechslera sorokiniana</i> <i>Cochliobolus sativus</i>	Tohum, kök, yeşil aksam	80	5
<i>Blumeria hordei</i>	Yeşil aksam	95	25
<i>Hymenula cerealis</i> <i>Cephalosporium gramineum</i>	Tohum, Kök, yeşil aksam	2	5
<i>Colletotrichum graminicola</i> <i>Dicladium graminicola</i> <i>Steirochaete graminicola</i> <i>Glomerella graminicola</i>	Kök	<1	<1
<i>Fusarium culmorum</i> <i>Fusisporium culmorum</i> <i>Fusarium graminearum</i> <i>Fusarium roseum</i> var. <i>graminearum</i>	Tohum, kök, yeşil aksam	35	12

<i>Fusarium saubinetii</i> <i>Fusarium caricis</i> <i>Sphaeria zaeae</i> <i>Dothidea zaeae</i> <i>Hendersoniopsis zaeae</i> <i>Gibberella zaeae</i> <i>Fusarium equiseti</i> <i>Selenosporium equiseti</i> <i>Fusarium sambucinum</i> <i>Fusarium culmorum</i> var. <i>cereale</i> <i>Fusarium roseum</i> <i>Fusarium sulphureum</i> <i>Fusarium ossicola</i> <i>Fusarium equiseti</i> subsp. <i>ossicola</i> <i>Fusarium sambucinum</i> var. <i>ossicola</i> <i>Fusarium cerealis</i> <i>Gibberella pulicaris</i> <i>Gibberella cyanogena</i> <i>Gibberella rosea</i> f. <i>cerealis</i> <i>Fusarium solani</i> <i>Fusarium javanicum</i> <i>Fusarium martii</i> <i>Fusarium eumartii</i> <i>Fusarium striatum</i> <i>Fusarium aduncisporum</i> <i>Fusarium javanicum</i> var. <i>radicicola</i> <i>Fusisporium solani</i> <i>Neocosmospora solani</i> <i>Fusarium acuminatum</i> <i>Fusarium scirpi</i> <i>Fusarium caudatum</i> <i>Gibberella acuminata</i> <i>Fusarium redolens</i> <i>Fusarium oxysporum</i> var. <i>redolens</i> <i>Fusarium solani</i> var. <i>redolens</i>			
<i>Gaeumannomyces tritici</i> <i>Gaeumannomyces graminis</i> var. <i>tritici</i>	Kök	<1	<1
<i>Oculimacula yallundae</i> <i>Pseudocercospora herpotrichoides</i> <i>Tapesia yallundae</i> , <i>Cercospora herpotrichoides</i>	Kök	<1	<1
<i>Ustilago hordei</i> <i>Ustilago segetum</i> var. <i>hordei</i> <i>Ustilago avenae</i> <i>Ustilago nigra</i> <i>Ustilago nuda</i>	Tohum, aksam Yeşil	100	14

<i>Ustilago nuda</i> var. <i>hordei</i> <i>Ustilago tritici</i> <i>Ustilago segetum</i> var. <i>nuda</i> <i>Ustilago vavilovii</i>			
<i>Puccinia hordei</i> <i>Puccinia striiformis</i> f.sp. <i>hordei</i> <i>Puccinia graminis</i> <i>Puccinia graminis</i> var. <i>tritici</i>	Yeşil aksam	18,62 21,97 18,40	25,42 8,13 8,73
<i>Pyrenophora chaetomioides</i> <i>Helminthosporium avenae</i> <i>Drechslera avenae</i> <i>Pyrenophora graminea</i> <i>Pyrenophora teres</i> subsp. <i>graminea</i> <i>Helminthosporium gramineum</i> <i>Pyrenophora teres</i> <i>Helminthosporium teres</i> <i>Drechslera teres</i> <i>Pyrenophora teres</i> f. <i>maculata</i> <i>Pyrenophora teres</i> f. <i>teres</i>	Yeşil aksam	70	35
<i>Pythium graminicola</i> <i>Pythium graminicola</i> var. <i>stagni</i>	Kök	<1	<1
<i>Ceratobasidium cereale</i> <i>Rhizoctonia cerealis</i> <i>Thanatephorus cucumeris</i> <i>Rhizoctonia solani</i> var. <i>graminis</i>	Kök	15	5
<i>Rhynchosporium graminicola</i> <i>R.secalis</i> <i>R.commune</i> <i>Ramularia hordei</i>	Tohum, yeşil aksam	35	15
<i>Sclerotinia borealis</i> <i>Sclerotinia graminearum</i>	Kök, Yeşil aksam	<1	<1
<i>Zymoseptoria passerinii</i> <i>Septoria passerinii</i> <i>Rhodospora passerinii</i> <i>Septoria murina</i>	Yeşil aksam	5	5
<i>Typhula incarnata</i> <i>Sclerotium fulvum</i> <i>Clavaria elegantula</i> <i>Typhula itoana</i>	Kök	<1	<1

*Koyu (kalın) yazılan isimler hastalıkların dünyada şu anda geçerli olan isimleridir, koyu (kalın) olmayanlar ise sinonim isimleridir.

1.1 Arpa bitkisinin köklerinde tespit edilen fungal hastalıklar

Kök ve kökboğazı bölgesinden izolasyonlar ile elde edilen hastalık etmenleri olarak; *Fusarium culmorum*, *Fusarium graminearum* Gr.1,

Fusarium equiseti, *Fusarium solani*, *Fusarium scirpi*, *Fusarium redolens*, *Rhizoctonia cerealis*, *Thanatephorus cucumeris* (= *Rhizoctonia solani* var. *graminis*), *Bipolaris sorokiniana* (= *Cochliobolus sativus*), *Hymenula cerealis* (*Cephalosporium gramineum*), *Oculimacula yallundae* (= *Pseudocercospora herpotrichoides*), *Pythium graminicola*, *Sclerotinia borealis*, *Colletotrichum graminicola*, *Alternaria alternata* ve *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* izole edilmiştir. Toplam 16 fungal kök ve kökboğazı hastalığı etmeni tespit edilmiş olup (Şekil 2) değişen iklim ve çevre şartları, sulama uygulamaları ile değişen bitki desenine bağlı olarak bunlara ilaveten daha farklı funguslar da ortaya çıkabilir (Konuksal ve ark, 2017).

En yaygın olan kök çürüklüğü etmenleri *Fusarium* türleri ve *Bipolaris sorokiniana*'dır. *Fusarium* spp etmenlerinin bulunma oranı %35 şiddeti ise %12 olarak en etkili kök patojeni olarak tespit edilmiştir. Köklerde *Bipolaris sorokiniana*'nın bulunma oranı %30 ve hastalık şiddeti ise %10, *Rhizoctonia* spp etmeninin bulunma oranı %15 hastalık şiddeti ise %4 olarak tespit edilmiştir. *Alternaria alternata*, *Cephalosporium gramineum*, *Colletotrichum graminicola*, *Gaeumannomyces tritici*, *Pythium graminicola*, *Sclerotinia borealis* etmenleri düşük oranlarda ve şiddetlerde tespit edilmiştir (Konuksal ve ark, 2017; Hekimhan ve ark., 2017). Yağışlı ülke/yörelere tespit edilen yüksek hastalık şiddetlerine kıyasla KKTC gibi yarı kurak ve kurak bölgelerde tespit edilen düşük hastalık şiddetlerinin bitki gelişimi ve verim üzerine etkisi daha fazla olmaktadır.

Kök ve kökboğazı çürüklüğü hastalıkları için bir tarlayı kontrol ederken, özellikle sadece ürünün yapraklarına bakarak yüründüğünde sıklıkla gözden kaçabilmektedir. Bunun nedeni, kök çürümesinin toprağın yüzeyinin altında meydana gelmesi ve fide yanıklığının ve kök çürüklüğünün gelişiminin erken aşamalarında toprak üstünde fark edilememesidir. Kök hastalıklarının tahıl ürünleri üzerindeki etkisini izlemek için, ürün geliştikçe tarlanın çeşitli bölgelerinde bitki köklerinin

ve kökboğazlarının kontrolleri yapılmalıdır. Şüphelenilen bitkilerin topraktan çıkarılıp yıkanarak incelenmesi yerinde olur. Normal sağlıklı bir bitki kazıldığında, yıkandıktan sonra beyaz/krem rengi kın/koleoptile ve beyaz köklere sahip olacaktır. KKTC’nde yaygın majör kök hastalıkları kısaca:

a. Yaygın (Adi) Kök Çürüklüğü: *Cochliobolus sativus* tarafından meydana gelir ve kökler ve alt kök gövdelerinde koyu kahverengiden siyaha kadar lezyonlara yol açar. Tohum ve toprak kaynaklıdır. KKTC de yaygın olarak bulunmaktadır.

b. *Fusarium* Kök Çürüklüğü ve Fide Yanıklığı: *Fusarium* spp. neden olur ve kökler ve fide gövdelerinde kahverengiden pembemsi kırmızımsı kahverengiye kadar renk değişimine neden olur. Bitkilerde bütün kardeşler ölmez, akbaşaklar oluşur, bitkiyi topraktan çekince kökler toprağı ile birlikte gelir. Hasta bitkide dane oluşmaz veya cılız daneler oluşur. Tohum ve toprak kaynaklıdır. KKTC de yaygın olarak bulunmaktadır.

c. *Rhizoctonia* Kök Çürüklüğü: *Rhizoctonia solani* ve *R.cerealis* neden olur ve kökler ve alt gövdelerde başlangıçta kırmızımsı kahverengi lezyonlara neden olur. Sapın dip kısımlarında keskin kenarlı siyah lezyonlu çürümelere neden olarak bitkilerin yatmasına ve kurummasına neden olur. Toprak kaynaklıdır.

d. Göçerten (Take-All): *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* tarafından meydana gelir ve kökler ve alt gövdelerde kararmaya neden olur. Bütün bitkiyi kardeşleri ile birlikte öldürür. Bitkiyi çekince kökler tamamen çürüdüğünden topraksız olarak gelir. Toprak kaynaklıdır. Süt olum dönemi sonunda hasta bitkiler tamamen ölürlür. Ekinlerin sararması ile birlikte ölen bitkileri saprofit mantarlar kaplar ve siyahlaşırlar.

e. *Pythium* Kök Çürüklüğü: *Pythium* spp. neden olur ve kökler ve alt gövdelerde suya doymuş, kahverengi lezyonlara yol açar. Fide

döneminde meydana gelir. Seyrelme ve gelişme geriliklerine neden olur.

C. sativus ve *Fusarium* spp. hem tohumla hem de toprakla bulaşan hastalıklardır. Bu hastalıklar bitkide kardeşlenmenin azalmasına ve başaklarda daha az tohum oluşumuna neden olabilir ve bitkilerin diğer yaprak hastalıklarına karşı daha duyarlı hale gelmesiyle birlikte tahıllarda erken olgunlaşmaya yol açabilir. Bu hastalıklar tarlanın çeşitli yerlerinde aralıklı olarak ortaya çıkar ve kın üzerinde kahverengi lezyonlar oluşur ve kökler de kahverengi renge döner. *C. sativus* ve *Fusarium* spp. kök çürüklüğünü ayırt etmek zor olabilir. *C. sativus* genellikle bitkinin kınında lezyonlar olarak başlar. Tohumla toprak yüzeyi arasında bulunan kök-sap kısmında lezyonlar oluşturur. *Fusarium* spp. ise bitkinin bazı kısımlarında pembe renklenmeyle ayırt edilebilir ve bitkinin dışında veya bazen sapı yararak iç kısımlarında gözlemlenebilir. Enfeksiyonun tohumla mı yoksa toprakla mı bulaştığı enfeksiyonun yerinden anlaşılabilir. Bu hastalıklar, tarlanın alçak ve nemli bölgelerinde yamalar halinde görülür. Bitkiler ve kökler bodur kalır ve kökler kahverengiye döner bazı durumlarda alt yapraklar da sararır. Kök gelişimi engellenebilir kökler kısalabilir. Bitkide ak başaklar oluşabilir.



Fusarium spp.



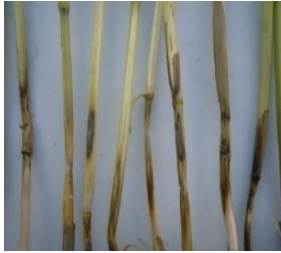
Fusarium spp.



Rhizoctonia solani
(Photo by Mary Burrow)



Oculimacula yallundae



Rhizoctonia spp.



Pythium graminicola



Bipolaris sorokiniana



Gaeumannomyces tritici



Typhula incarnata



Cephalosporium
gramineum



Sclerotinia borealis



Colletotrichum
graminicola
(Photo [Clemson Univ.](#))

Şekil 2. KKTC Arpa Ekilişlerinde Tespit Edilen Kök ve Kökboğazı Fungal Hastalıkları
(Belirtilmeyen Fotoğraflar Yazara Aittir)

Alternaria, *Typhula* ve *Hymenula* etmenleri KKTC’nde arpaların kök bölgesinde yoğun olarak rastlanılan hastalıklar değildir. Bunlar içerisinde toprak kaynaklı *Typhula* ve *Hymenula* bahar aylarının serin ve yağışlı geçtiği yıllarda lokal minör zararlar oluşturmaktadır. *Alternaria* ise tohumla taşınmakta ve uygun şartlarda fide ve tohum ölümlerine de neden olabilmektedir. *Cephalosporium* ise uzun süre serin, yağışlı ve kapalı geçen bahar aylarında lokal alanlarda KKTC’de minör düzeyde zarar oluşturan iletim demeti hastalığıdır. Bitkinin birinci boğumunda koyulaşma ve kararmaya neden olabilir, yapraklarda çizgiler ve bitkide ak başaklar oluşabilir. Tohum ve toprak kaynaklıdır. Hastalığa yakalanan bitkilerin köklerinde aşırı saçaklanma olmakta ve bitkilerde kardeş oluşturma teşvik edilmektedir. Bazen yan dallanmalar olabilmektedir.

Bu hastalıkların belirlenmesinde hem bitkinin toprak üstü kısımlarının hem de kök sistemlerinin dikkatli bir şekilde incelenmesi gerekir. Bu şekilde, bu hastalıkların tahıl ürünleri üzerindeki etkisi daha iyi yönetilebilir ve hafifletilebilir.

Dayanıklı çeşitlerin yetiştirilmesi, ekim zamanı, ekim derinliği, ekim sıklığı, münavebe gibi kültürel önlemler uygulanabilir. Tohum ve yeşil aksam ilaçlamaları göçerten hastalığı dışında yeterli etkiyi göstermektedir. Bu hastalıklara karşı koruma sağlamak üzere temas (kontakt) ve sistemik aktiviteye sahip ve bu hastalıklara karşı kayıtlı olan bir tohum ilacı kullanılması önerilir. Yeşil aksamda kimyasal mücadelede etkili sonuçlar almak için; doğru ekipman ile doğru zamanda ve uygun dozda çok iyi yüzeysel kaplama yapmak önemlidir.

1.2. Arpa Bitkisinin Yeşil Aksamında Tespit Edilen Fungal Hastalıklar

Yeşil aksamda yani arpa bitkisinin toprak üstü aksamlarında (sap, yaprak, kın ve başak) tespit edilen hastalık etmenleri ise *Fusarium graminearum*, *Alternaria alternata*, *Alternaria triticina*, *Alternaria*

tenuissima, *Blumeria hordei*, *Hymenula cerealis*, *Cochliobolus sativus*, *Puccinia graminis*, *Puccinia hordei*, *Puccinia striiformis f.sp. hordei*, *Pyrenophora chaetomioides*, *Pyrenophora graminea*, *Pyrenophora teres f maculata*, *Pyrenophora teres f teres*, *Rhinchosporium graminicola*, *Ustilago hordei*, *Ustilago nuda*, *Ustilago nigra*, *Zymoseptoria passerinii* etmenleri tespit edilmiştir (Konuksal ve ark, 2017; Hekimhan ve ark., 2014a; Hekimhan ve ark., 2014b).

Bu hastalık etmenleri arpa ekiliş alanlarında bitkilerin yeşil aksamında yani toprak üstü aksamında tespit edilen fungal hastalıklardır ve 12 cinse ait 19 türü içermektedir. Bu hastalık etmenleri arpa bitkisinin yaprak, sap, kın ve başak kısımlarından izole edilen etmenlerdir (Konuksal ve ark. 2017). Yeşil aksamda tespit edilen hastalık etmenlerine ait resimler Şekil 3'te verilmiştir.

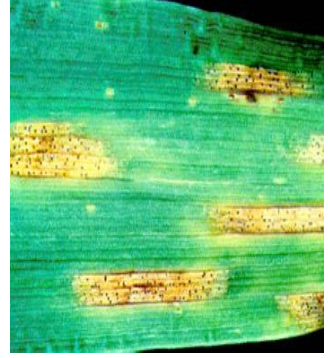
Pyrenophora chaetomioides, *Pyrenophora teres f. maculata* ve *Pyrenophora teres f. teres* hastalıkları birlikte %70 yaygınlık ve % 35 hastalık şiddeti ile daha etkili olarak görülmüştür. *Puccinia* spp. hastalıkları *Septoria* spp. ve *Ascochyta* sp., *Oculimacula* sp. düşük bulunma oran ve şiddetine sahiptirler. İklimin ve şartların uygun gitmesi durumunda *Puccinia* spp. hastalıkları ciddi derecede zarar oluşturabilir (Hekimhan ve ark. 2014b).



Pyrenophora graminea



Fusarium graminearum



Zymoseptoria passerinii
(https://www.cymobase.org/cymobase/species_list?species_id=4031)



Pyrenophora chaetomioides



Bipolaris sorokiniana



Rhynchosporium graminicola



Pyrenophora gramineae



Pyrenophora teres f. teres



Pyrenophora teres f. maculata

Şekil 3. Arpa Bitkisi Yeşil Aksamında Tespit Edilen Fungal Hastalıklar (Belirtilmeyen fotoğraflar yazara aittir)



Ustilago avenae



Ustilago hordei



Ustilago nuda



Blumeria hordei



Hymenula cerealis



Hymenula cerealis



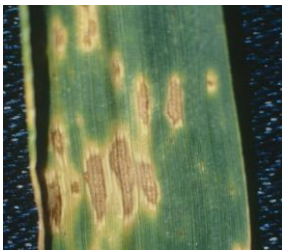
Puccinia striiformis



Puccinia graminis



Puccinia hordei



Alternaria triticina
(<https://www.flickr.com/photos/cimm/yt/5071594387>)



Alternaria alternata
(AIMasoodi ve ark., 2023)



Fusarium sp.

Şekil 3'ün Devamı (Belirtilmeyen Fotoğraflar Yazara Aittir)

Rhynchosporium secalis %35 yaygınlık ve % 15 hastalık şiddetine sahip olup daha yüksek nemli şartlarda zarar seviyesi artabilecek durumdadır. Başak hastalıklarından *Ustilago* sp. hastalıklarının %100 bulunma ve %14 de tarla içi yaygınlık oranına sahip olduğu tespit edilmiştir. Yani verimde direkt olarak %14 etkili bulunmuştur. Külleme hastalıkları özellikle gelişmenin ilk dönemlerinde etkili görülmüş olup %95 bulunma oranında ve %25 şiddette görülmüşlerdir.

Kuzey Kıbrıs'ta 2011-2012 ve 2012-2013 yıllarında tahıl yaprak hastalıklarının önemini belirlemek için sürveysler yapılmıştır. Birinci yılda 142 ve ikinci yılda 96 tarla süt olum döneminde (Zadoks 61-79) incelenmiştir. Hastalıkların varlığı, görülme sıklıkları ve şiddetleri kaydedilmiştir. Buğdayda sarı pas, arpada sarı pas, buğday ve arpada kara pas, arpada yaprak pası, buğdayda yaprak pası ve yulafta taçlı pas kaydedilmiştir. Ancak iklim şartlarından dolayı nispeten düşük seviyelerde oldukları görülmüştür. İnceleme yapılan yıllarda pas hastalıklarının Kuzey Kıbrıs'ta önemli kayıplara neden olmadığı belirtilmiştir (Hekimhan ve ark, 2014). 2014-2015 yılında ise ülkede pas hastalığı epidemisi yaşanmıştır.

1.3. Arpa bitkisi tohumlarında tespit edilen fungal hastalıklar

Hububat tohumlarında yüzeysel ve endofitik olarak bulunan fungal florada; *Tilletia foetida*, *Tilletia caries*, *Tilletia tritici*, *Ustilago hordei*, *Ustilago nuda*, *Ustilago nigra*, *Puccinia graminis*, *Puccinia hordei*, *Puccinia coronata*, *Puccinia striiformis*, *Bipolaris sorokiniana*, *Pyrenophora graminea*, *Pyrenophora teres f maculata*, *Pyrenophora teres f teres*, *Rhynchosporium secalis*, *Fusarium pseudograminearum*, *Alternaria alternata* fungusları tespit edilmiştir.



Alternaria alternata
(Hocking, A.D., 2014)



F. graminearum (solda)



Pyrenophora graminea



F. graminearum
(Kelly Turkington- Agriculture
and Agri-Food Canada)



Pyrenophora graminea
(Anonymous, 2019)



*Alternaria and
Cladosporium*
(Anonymous, 2019)



F. graminearum



Pyrenophora teres
(Anonymous, 2019)



Fusarium sp.



Ustilago avenae



Ustilago hordei



Ustilago nuda

Şekil 4. Arpa Bitkisi Tohumlarında Tespit Edilen Fungal Hastalıklar (Belirtilmeyen Fotoğraflar Yazara Aittir)

Arpa, buğday ve tritikale bitkilerinde yeşil aksamda ve kökte etkili olan pek çok hastalığın tohumlarda bulunduğu tespit edilmiştir. Bunların bir kısmı tarlada başak döneminde tohumlara bulaşmakta ve yerleşmekte iken bir kısmı hasat esnasında sağlam tohumlara bulaşmaktadır.

KKTC de yürütülen bir denemede tohum ilaçlarının etkileri araştırılmıştır. Tebuconazole ve Teboconazole+Prothioconazole tohum ilaç denemesi sonucunda; fide döneminde külleme (*Blumeria hordei*) hastalığında %89, *Pyrenophora teres* hastalıklarında %27, rastık hastalıklarında (*Ustilago* spp.) %67, kökçürüklüğü hastalığı simptomlarında ise %21 oranlarında azalma sağlanırken verimde 113 kg/da dan 198 kg/da' ulaşan bir artış (%75) tespit edilmiştir. Bu da KKTC'de tohum ilaçlamasının önemini ortaya koymaktadır (Hekimhan ve ark., 2018c).

Yine KKTC de yürütülen bir reaksiyon denemesi çalışmasında ise bazı genotiplerin yaprak hastalıkları olan *Pyrenophora teres* ve *Bipolaris sorokiniana* için en dayanıklı genotipler olduğu belirlenmiştir. Araştırmalar mücadelede en ekonomik yöntem olan dayanıklı çeşitlerin belirlenmesi ve ekimin sağlanması için mevcut materyal ve genetik havuzun var olduğunu göstermiştir (Hekimhan ve ark., 2018b; Hekimhan ve ark., 2024).

Yeşil aksamda etkili olan pek çok hastalığın tohumlarda bulunduğu tespit edilmiştir. Bunların bir kısmı tarlada başak döneminde tohumlara bulaşmakta ve yerleşmekte iken bir kısmı hasat esnasında sağlam tohumlara bulaşmaktadır.

Arpa bitkisinde tohumla taşınan ve tohumda bulunan hastalıkların önlenmesi için uygulanan yöntemler, buğdayda kullanılan yöntemlerle paralellik göstermektedir. Önleyici tedbirler özet olarak aşağıda verilmiştir:

a. Ekime Hazırlamadan Önce Tohum Kaynağını Test Etmek (Temiz Tohumluk Kullanmak)

Tohumun hastalık kontaminasyonundan arınmış olduğunu doğrulamak için, temizleme veya ekim işlemlerinden önce gözle ve gerekli görülürse laboratuvar şartlarında test edin. Bu, enfekte olmuş tohumların erken tespit edip ortadan kaldırılmasına ve ürünün veriminin

artırılmasına yardımcı olur. Kullanılacak tohumların sertifikalı tohumluk olması tercih edilmelidir. Kendi tarlamızdan ya da komşulardan temin edilecek tohumlar kullanılacaksa; yetiştirme döneminde temiz olduğu gözlenen tarlalardan tohumluk alınmasına dikkat edilmelidir.

b. Tavsiye Edilen Bitki Koruma Ürünü Kullanarak Tohum İlaçlaması Yapmak

Özellikle *Fusarium* başak yanıklığı, Arpa Çizgi hastalığı (*Pyrenophora graminea*) ve Arpa yanıklık hastalığı (*Rhynchosporium graminicola*) vs. kontrolü için özel olarak tavsiye edilen mantar ilaçları tohum tedavilerinde kullanılmalıdır. Tohumlara veya çevreye zarar vermeden etkili tedavi sağlamak için etikette belirtilen ilaç oranlarına uyulmalıdır.

c. Uygun Ekim Nöbeti Uygulamalarına Dikkat Etmek

Hastalık döngüsünü kırmak için arpanın, hastalıkların konukçusu olmayan diğer bitkilerle dönüşümlü olarak ekilmesi gerekir. Özellikle hastalık birikimini azaltmak için aynı tarlaya ardışık olarak tahıl ekiminden kaçınılmalıdır.

d. Dirençli (Dayanıklı/Tolerant) Çeşitleri Kullanmak

Hastalıklara karşı dirençli olarak yetiştirilen arpa çeşitlerinin seçilmesi ekimi önemlidir. Piyasada mevcut olan en son dirençli çeşitleri takip edip kullanmak gerekir.

e. Tavsiye Edilen Oranlarda ve Zamanlarda Yeşil Aksama Fungusit Uygulamak

Bu hastalıkların görüldüğü alanlarda mantar ilaçlarını, entegre hastalık yönetimi planının bir parçası olarak yeşil aksamda da kullanmak gerekir. Mahsulün hassas büyüme aşamalarında koruma sağlamak için önerilen oranlarda ve en uygun zamanda uygulama yapılmalıdır.

Bu önlemler, arpadaki tohumda bulunan hastalıkların enfeksiyonlarının yönetilmesine ve önlenmesine kolektif olarak yardımcı olur, böylece daha sağlıklı mahsuller ve daha iyi verimler elde edilir.

Bu hastalıkların çoğu aynı tarlada birlikte veya yalnız, aynı veya değişik zamanlarda zarar yapmaktadırlar. Hububat çiftçisinin ekonomik durumunun zayıf olması ve hastalıklar hakkında yeterli bir bilgiye sahip olmaması hastalıklarla mücadeleyi oldukça zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, öncelikle çiftçilerin hastalıkları tanımaları, mücadele usul ve esaslarını bilmeleri ve teknik teşkilat tarafından bilgilendirilmeleri gerekmektedir. Ayrıca yetiştirilen çeşitlerin hastalıklara hassas olmalarından dolayı tohum ve yüzey ilaçlamalarına önem verilmesi, Kuzey Kıbrıs şartlarına uygun ve hastalıklara dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması sorunlarının çözümünde zorunluluk arz etmektedir (Hekimhan ve ark., 2016).

KAYNAKÇA

- AlMasoodi, I; Hameed, Z; Lahuf, A. (2023). First report of *Alternaria alternata* associated with spot blotch of barley (*Hordeum vulgare*) in Iraq. Revis Bionatura 2023;8 (4) 56. <http://dx.doi.org/10.21931/RB/2023.08.04.56>
- Anonim, (2019). İstatistikler. Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti Tarım ve Doğal Kaynaklar Bakanlığı, <http://tarim.gov.ct.tr/%C4%B0statistikler> . Erişim tarihi: 15.07.2024
- Anonim, (2020). 'Asrın projesi' askılı boru sistemiyle Anadolu'dan KKTC'ye su taşıyor'. https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/asrin-projesi_askili-boru-sistemiyle-anadoludan-kktcye-su-tasiyor/2011317 (Erişim tarihi 15.07.2024).
- Anonymous, (2019). Identifying wheat and barley seed affected by fusarium head blight. <https://www.grainscanada.gc.ca/en/grain-quality/grain-grading/grading-factors/identifying-fusarium.html>. (Access Date: 18.07.2024)
- Hekimhan, H., Fidan, H., Güllü, M., Gözüaçık, C., Konuksal, A., (2014a). Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti Arpa (*Hordeum vulgare* L.) Ekilişlerinde Tespit Edilen Toprak Üstü Aksam Fungal Hastalıkları. Türkiye V. Bitki Koruma Kongresi Bildiri Özetleri, sayfa 254, 3-5 Şubat 2014, Antalya.
- Hekimhan, H., Fidan, H., Güllü, M., Gözüaçık, C., Konuksal, A., Değirmenci, D., And Serinol, E., (2014b). The Incidence and Severity of Rust Diseases (*Puccinia* spp.) in Cereal Production Areas of Northern Cyprus, 2014. 2nd International Wheat Stripe Rust Symposium, Abstracts, 34p, April 28-May 1, İzmir/Turkey.
- Hekimhan, H., Konuksal, A., Fidan, H., Gözüaçık, C., Güllü, M., Değirmenci, R., Akerzurumlu, E., (2016). Important Fungal Disease Problems of Cereal Production Areas in Turkish Republic of Northern Cyprus and Solution Offers. VII International Scientific Agriculture Symposium, “Agrosym 2016”, Book of Abstracts, 557, Jahorina, 6-9 October 2016, Bosnia and Herzegovina.
- Hekimhan, H., Konuksal, A., Değirmenci, R., Fidan, H., (2017). Identification and Severity of Pathogens of Fungal Diseases Caused Root and Crown Rot on Spring Cereals in Northern Cyprus. II. International Iğdır Symposium Abstract Book, E-ISBN 978 605 82038-0-8, p96, 9-11 October 2017, Iğdır, Turkey.

- Hekimhan, H., Gözüaçık, C., Karaca, C., Konuksal, A., (2018a). Hububat Hastalık ve Zararlıları El Rehberi. Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti Tarım ve Doğal Kaynaklar Bakanlığı Tarımsal Araştırma Enstitüsü, 96 s, Lefkoşa.
- Hekimhan, H., Gözüaçık, C., Konuksal, A., İmamoğlu, A., Değirmenci, R., Karaca, C., (2018b). Determination of reactions of some spring barley genotypes to some biotic and abiotic factors in Northern Cyprus. International Scientific Conference “Sustainable Development of Agriculture - A Priority of Modern Agricultural Science”. 28 November 2018, Karnobat, Bulgaria.
- Hekimhan, H., Gözüaçık, C., Güllü, M., Konuksal, A., Değirmenci, R., Karaca, C., (2018c). KKTC Koşullarında Hastalık ve Zararlılara Karşı Tohum Fungusit ve İnsektisit Karma İlaç Uygulamasının Athenais Arpa Çeşidinde Verim ve Bazı Verim Öğeleri Üzerine Etkisi. I.International Iğdır Congress on Multidisciplinary Studies, November 6-7, Congress Book of Full Texts, Vol: I, p642-650, Iksad International Publishing House, ISBN 978-605-7510-82-2, Iğdır, Turkey
- Hekimhan, H., Konuksal, A., Gözüaçık, C., 2024. Detection of The Reactions of Some Barley (*Hordeum vulgare* L.) Genotypes Against Pyrenophora teres Disease in Field Conditions in Güzelyurt And Türkmenköy Districts in Northern Cyprus And Their Relationship with the Number of Tiller in the Plant. International Congress on Sustainable Agriculture, March 01-03, 2024, 482-494, Iğdır University, Türkiye
- Hocking, A.D., (2014). Spoilage problems: problems caused by Fungi, in: encyclopedia of food microbiology: Second Edition. Academic Press, Inc, pp. 471–481. 10.1016/B978-0-12-384730-0.00315-3.
- Konuksal, A., Hekimhan, H., Gözüaçık, C., Güllü, M., Fidan, H., Değirmenci, R. & Karaca, C. (2017). Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti Tahıl Alanlarındaki Zararlı Böcek, Nematod, Hastalık ve Yabancı Otların Tespiti, Önemli Olanların Biyo Ekolojileri ve Mücadelesi Üzerinde Araştırmalar. Proje Sonuç Raporu (TAE-M2009015). Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti, Tarım ve Doğal Kaynaklar Bakanlığı, Lefkoşa Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, 157 s.

Serinol, E., Haydar, E., Çakırdağ, S., Nalbantoğlu, N., (2010). Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti Tarımsal Yapı ve Üretim 2009. Tarım ve Doğal Kaynaklar Bakanlığı İstatistik ve Planlama Şubesi, 165 s, Lefkoşa.



ISBN: 978-625-367-834-0