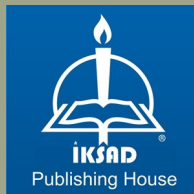




ZİRAAT, ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ ALANINDA ARAŞTIRMALAR VE DEĞERLENDİRMELER - 4

EDİTÖR
Prof. Dr. Nesrin YILDIZ



ZİRAAT, ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ ALANINDA ARAŞTIRMALAR VE DEĞERLENDİRMELER IV

EDİTÖR

Prof. Dr. Nesrin YILDIZ

YAZARLAR

Prof. Dr. Abdullah ÖKTEM

Prof. Dr. Adem ÖZARSLANDAN

Prof. Dr. Gültekin ÖZDEMİR

Prof. Dr. Hüsrev MENNAN

Doç. Dr. Fırat PALA

Doç. Dr. Neriman Tuba BARLAS

Doç. Dr. Turgay KABAY

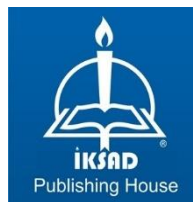
Dr. Öğr. Üyesi Alper GÜNGÖR

Dr. Mümine ÖZARSLANDAN

Arş. Gör. Necla ŞAŞKIN

Zir.Yük. Müh. Şehmüs ATAKUL

Ümmühan İpek GÖKTAŞ



Copyright © 2025 by iksad publishing house
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or
transmitted in any form or by
any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical
methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of
brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses
permitted by copyright law. Institution of Economic Development and Social
Researches Publications®

(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)

TÜRKİYE TR: +90 342 606 06 75

USA: +1 631 685 0 853

E mail: iksadyayinevi@gmail.com

www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.

Iksad Publications – 2025©

ISBN: 978-625-378-459-1

Cover Design: İbrahim KAYA

December / 2025

Ankara / Türkiye

Size: 16x24cm

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....1

BÖLÜM 1

ÇİLEK YETİŞTİRİCİLİĞİNDE TRİCHODERMA MANTARLARININ KULLANIMI

Dr. Mümine ÖZARSLANDAN

Ümmühan İpek GÖKTAŞ

Prof. Dr. Adem ÖZARSLANDAN.....3

BÖLÜM 2

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE KURAKÇIL ÇÖZÜMLER VE KENTSEL SU TASARRUFU

Dr. Öğr. Üyesi Alper GÜNGÖR.....17

BÖLÜM 3

BAŞARILI BİR HERBİSİT UYGULAMASI İÇİN STRATEJİK KILAVUZ

Doç. Dr. Fırat PALA

Prof. Dr. Hüsrev MENNAN.....29

BÖLÜM 4

SÜRDÜRÜLEBİLİR VE EKOLOJİK TEMELLİ YABANCI OT KONTROLÜ

Doç. Dr. Fırat PALA

Prof. Dr. Hüsrev MENNAN.....37

BÖLÜM 5

BAĞCILIKTA MİKORİZAL MANTARLARIN KULLANIMI: ASMA BESLENMESİ, STRES TOLERANSI VE SÜRDÜRÜLEBİLİR ÜRETİM ÜZERİNE ETKİLERİ

Arş. Gör. Necla ŞAŞKIN

Prof. Dr. Gültekin ÖZDEMİR.....55

BÖLÜM 6

REJENERATİF TARIM: İLKELER, EKOSİSTEM YARARLARI VE UYGULAMA ZORLUKLARI

Doç. Dr. Neriman Tuba BARLAS.....77

BÖLÜM 7

MISIR (Zea mays L.) BİTKİSİNDE VERİM ARTIŞI VE STRES TOLERANSININ ARTIRILMASINDA YENİLİKÇİ YÖNTEMLER VE TEKNOLOJİLER

Zir. Yük. Müh. Şehmüs ATAKUL

Prof. Dr. Abdullah ÖKTEM.....87

BÖLÜM 8

TOPRAKSIZ ORTAMDA BESİN ÇÖZELTİSİ HAZIRLANIŞI VE ÖNEMİ

Doç. Dr. Turgay KABAY.....117

ÖNSÖZ

Tarım, en temel tanımıyla, insan beslenmesi ve yaşamını sürdürmesi için gerekli olan bitkisel ve hayvansal ürünlerin yetiştirilmesi, üretilmesi ve işlenmesi faaliyetidir. Yeryüzündeki medeniyetlerin temelini oluşturan, en eski ve en hayati uğraşlardan biridir. Tarımın birincil ve en önemli işlevi, gıda güvenliğini sağlamaktır. İnsanların temel ihtiyaçları olan tahıllar, sebzeler, meyveler, et, süt ve diğer hayvansal ürünler, doğrudan tarımsal faaliyetler sonucu elde edilir. Tarım olmadan, insan topluluklarının varlığını sürdürmesi ve gelişmesi mümkün değildir.

Tarım dünya genelinde milyonlarca insanı istihdam eden büyük bir ekonomik sektördür. Birçok ülke için önemli bir ihracat kaynağıdır ve küresel ticaretin önemli bir parçasını oluşturur. Tekstil (pamuk), yağ (ayçiçeği, zeytin) ve biyoyakıt gibi birçok sanayi koluna hammadde sağlar.

Kırsal bölgelerde yaşamın sürdürülmesini ve kalkınmayı destekler. Toprak ve su gibi doğal kaynakların yönetimi ve korunmasında kritik bir role sahiptir. Sürdürülebilir tarım uygulamaları, biyoçeşitliliğin korunmasına da katkıda bulunur.

Özetle, tarım sadece karın doyurmakla kalmaz; aynı zamanda ekonominin itici gücü, sanayinin besleyicisi ve toplumların sağlıklı bir şekilde varlığını sürdürmesinin vazgeçilmez temel taşıdır. Günümüzde, hızla artan dünya nüfusu ve iklim değişikliği gibi zorluklar karşısında sürdürülebilir ve verimli tarım yöntemlerinin önemi daha da artmıştır.

Ülkemizde ve küresel ve bölgesel çapta öne çıkan temel sorunlar; Küresel ısınma nedeniyle kuraklık, sel, aşırı sıcak dalgaları ve düzensiz yağış rejimleri tarımsal üretimi doğrudan tehdit ediyor. Bu durum, mahsul veriminde ve kalitesinde düşüslere yol açmaktadır. Özellikle yarı kurak bölgelerde su stresi artmakta, bilinçsiz ve eski tip sulama yöntemleri yeraltı sularını tüketmektedir. Aşırı gübre ve bilinçsiz kimyasal kullanımı ile birlikte erozyon, toprak verimliliğini ciddi ölçüde azaltmaktadır.

Dünya genelinde ve Türkiye'de gübre, mazot, tohum ve tarım ilacı gibi temel girdilerin fiyatlarının yükseliği, üreticinin kârlılığını düşürmekte ve üretimden vazgeçmesine neden olabilmektedir. Plansız üretim, bazı ürünlerde arz fazlasına ve fiyatların düşmesine yol açarken, bazı ürünlerde ise yetersizliğe ve ithalat ihtiyacına neden olmaktadır. Miras yoluyla arazilerin bölünmesi, toplulaştırma ihtiyacını ortaya çıkarmakta; bu da modern tarım

teknolojilerinin ve verimli sulama sistemlerinin kullanımını zorlaştırmaktadır. Üreticinin ürünü ile tüketiciye ulaşana kadarki aşamada aracı sayısının fazlalığı (komisyoncular), üreticinin düşük fiyata satmasına karşın tüketicinin ürüne yüksek fiyata ulaşmasına neden olmaktadır. Tarımsal gelirin düşüklüğü ve kırsalda yetersiz altyapı, genç nüfusun tarım sektöründen uzaklaşarak kentlere göç etmesine neden olmakta, bu da sektörde işgücü eksikliği yaratmaktadır. Çiftçilerin modern tarım teknikleri, dijitalleşme ve hassas tarım konularında yeterli eğitime ve finansmana sahip olmaması, verimliliği artırma çabalarını kısıtlamaktadır. Küresel olarak, gıda üretimindeki artışa rağmen, yetersiz beslenme (açlık) ve obezite gibi sorunların aynı anda var olması, sağlıklı ve besleyici gıdaya adil erişim sorununu işaret etmektedir.

Bu sorunların üstesinden gelmek için, sürdürülebilir tarım politikaları, arazi toplulaştırma, modern sulama teknikleri ve üretici örgütlenmelerinin güçlendirilmesi hayati önem taşımaktadır.

Prof. Dr. Nesrin YILDIZ

BÖLÜM 1

ÇİLEK YETİŞTİRİCİLİĞİNDE TRICHODERMA MANTARLARININ KULLANIMI

Dr. Mümine ÖZARSLANDAN¹

Ümmühan İpek GÖKTAŞ²

Prof. Dr. Adem ÖZARSLANDAN²

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.17969491>

¹ Biyolojik Mücadele Araştırma Enstitüsü Yüreğir Adana Türkiye, mumine.ozarslandan@tarimorman.gov.tr, orcid id:0000000341251028

² Mersin Üniversitesi, Silifke Uygulamalı Teknoloji ve İşletmecilik Yüksekokulu, Mersin Üniversitesi, Organik Tarım işletmeciliği Bölümü, Mersin, Türkiye, .ipek.goktass@gmail.com orcid id: 0009-0001-1579-5606

² Mersin Üniversitesi, Silifke Uygulamalı Teknoloji ve İşletmecilik Yüksekokulu, Mersin Üniversitesi, Organik Tarım işletmeciliği Bölümü, Mersin, Türkiye aozarslandan@mersin.edu.tr, orcid id: 0000-0001-7129-8543

1. GİRİŞ

Çilek (*Fragaria x ananassa*) dünya genelinde yaygın olarak yetiştirilen, yüksek ekonomik değere sahip önemli bir meyve türüdür. Ancak üretim süreci boyunca özellikle toprak kökenli patojenlerin neden olduğu hastalıklar verim ve kalite kayıplarına yol açmaktadır. Bu sorunlara karşı uzun yıllar kimyasal fungusitler kullanılmış olsa da kalıntı riski, çevresel kirlilik ve patojenlerde direnç gelişimi gibi olumsuzluklar nedeniyle alternatif ve sürdürülebilir çözümlere olan ihtiyaç giderek artmıştır. Bu nedenle, biyolojik mücadele ajanı ve bitki büyümesini teşvik edici özellikleriyle öne çıkan *Trichoderma* türleri çilek yetiştiriciliğinde dikkat çeken bir potansiyele sahiptir. Bu makale, çilek yetiştiriciliğinde *Trichoderma* uygulamalarının etkinliği üzerine yapılan araştırmaları derleyerek mevcut bilgileri bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Çilek geniş adaptasyon yeteneği sayesinde farklı iklim ve arazi koşullarında yetiştirilebilen bir meyvedir. FOA (2023) verilerine göre dünya genelinde çilek üretim alanı 434.977 ha üretim miktarı ise 10.85.454,1 ton olarak bildirilmiştir. Erken olgunlaşması, hasadın kolaylığı ve örtü altı yetiştiriciliğine uygunluğu sayesinde hem küçük üreticiler hem de uluslararası pazar açısından önemli avantajlar sunmaktadır.

Türkiye’de çilek yetiştiriciliğinde en sık rastlanan hastalık etmenleri toprak kaynaklı mikroorganizmalardır. Bunlar arasında *Verticillium dahliae*, *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani* ve *Phytophthora spp.* öne çıkmaktadır. Bu patojenler, bitkinin kök ve iletim dokularını tahrip ederek su ve besin alımını kısıtlar, dolayısıyla verim ve kaliteyi düşürür. Kimyasal fungusitler kısa vadede etkili olsa da dayanıklılık gelişimi, çevre kirliliği, yararlı mikroorganizmaların zarar görmesi ve insan sağlığına olası riskleri nedeniyle sürdürülebilir bir çözüm olmaktan uzaktır. Bu durum biyolojik mücadele stratejilerinin çevre dostu bir alternatifler olarak önem kazanmasına yol açmıştır. Özellikle *Trichoderma* türleri toprak kökenli patojenlerin baskılanmasında etkin rol oynamaktadır (Howell, 2003).

Trichoderma türleri dünya genelinde yaygın olarak bulunan, tarım ve çevre yönetiminde önemli biyoteknolojik potansiyele sahip toprak mantarlarıdır. MycoBank sınıflandırmasına göre Hypocreaceae ailesine ait olan bu cins, moleküler ve morfolojik açıdan tanımlanmış 300’den fazla tür içermektedir (Tyskiewicz ve ark., 2022). Çürüten organik materyalleri kolonize etme

yeteneği, hızlı gelişimi ekolojik adaptasyon kabiliyetiyle öne çıkar (Howell, 2003). *Trichoderma* cinsi, ilk olarak 1794 yılında Christiaan Hendrik Persoon tarafından tanımlanmıştır. 1934 yılında ise Weindling'in çalışmalarıyla *Rhizoctonia* ve *Sclerotinia* türleri üzerinde mikoparazit olarak biyolojik kontrol potansiyeli olduğu ortaya konmuştur (Rahimi Tamandegani ve ark., 2020). Tarımsal üretimde biyolojik kontrol ajanı olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır.

Trichoderma 'nın tarımsal uygulamalardaki etkinliği başlıca üç mekanizma üzerinden açıklanmaktadır. Bunlar; bitki gelişimini teşvik edici etkileri, bitki hastalıklarına karşı biyolojik kontrol potansiyeli ve çevresel dayanıklılığın artırılmasıdır. *Trichoderma* kök yüzeyini kolonize ederek simbiyotik bir ilişki kurar. Hidrofobin ve swollenin proteinleri sayesinde kök dokularıyla etkileşime geçer. Bu süreç bitki metabolizmasında değişiklikler oluşturarak savunma yanıtlarını harekete geçirir (Brotman ve ark., 2010). Bu mantar, indolasetik asit (IAA) gibi bitki büyüme düzenleyicileri sentezleyerek kök uzamasını teşvik eder. Ayrıca fitaz ve ferritin gibi bileşikler üreterek fosfor ve demir alımını kolaylaştırır. Toprak organik maddesini parçalayıcı enzimler sayesinde besin döngüsünü hızlandırır, fotosentez etkinliğini artırır. (Lombardi ve ark., 2020b).

Trichoderma türleri çok sayıda bitki patojenine karşı mikoparazitizm, antibiyoz ve rekabet yoluyla biyokontrol etkisi göstermektedir. Özellikle *Trichoderma harzianum* ve *Trichoderma viride*'nin *Rhizoctonia*, *Fusarium*, *Botrytis* ve *Sclerotinia* türleri üzerinde güçlü baskılayıcı etkiler oluşturduğu bildirilmiştir (Yao ve ark., 2023).

Trichoderma miselyumları patojen hiflerine tutunarak kitinaz ve β -glukanaz gibi enzimler salgılar. Bu enzimler hücre duvarlarını zayıflatır ve patojen gelişimini engeller. Ayrıca gliotoksin, peptaiboller ve uçucu organik bileşikler gibi yüzlerce sekonder metabolit üretir. Bu bileşikler hem patojenlerin büyümesini baskılar hem de bitkilerin savunma sistemlerini uyarır. Bu nedenle *Trichoderma*, biyolojik kaynaklı antimikrobiyal bileşiklerin üretiminde ve entegre hastalık yönetiminde önemli bir araç olarak değerlendirilmektedir (Nawrocka ve ark., 2018). *Trichoderma* bitki parazit nematodlara karşı etkili bir biyolojik ajandır. *Meloidogyne spp.*'nin neden olduğu kök-ur nematodlarının baskılanmasında önemli etkileri saptanmıştır. Bu etkinin özellikle asetik asit, gliotoksin ve siklosporin A gibi sekonder metabolitlerden kaynaklandığı

bildirilmektedir (Suarez ve ark., 2004). Dolayısıyla Trichoderma yalnızca fungal patojenlere değil, nematodlara karşı da güçlü bir biyokontrol etmenidir. Trichoderma 'nın bir diğer önemli özelliği ise çevresel stres koşullarında bitkilerin dayanıklılığını artırır. Ağır metaller, pestisitler ve endüstriyel atıklara karşı yüksek tolerans gösterdiği, toksik bileşiklerin birikimini azalttığı ve oksidatif stresi hafiflettiği bildirilmiştir (Tripathi ve ark., 2013). Bu özellikleri sayesinde hem tarımsal üretimde hem de çevresel kirliliğin azaltılmasında biyolojik arıtım ajanı olarak değerlendirilmektedir. Son yıllarda yapılan araştırmalar, Trichoderma suşlarının tarımsal kimyasalların parçalanmasında da kullanılabileceğini ortaya koymuştur. *Trichoderma viride*'nin klorpirifos ve fotodioldrin gibi pestisitleri (Mukherjee ve Gopal, 1996), *Trichoderma harzianum*'un ise DDT ve endosülfan gibi kimyasalları parçalayabildiği rapor edilmiştir (Katayama ve Matsumura, 1993). Bu bulgular Trichoderma 'nın yalnızca biyolojik mücadele de değil aynı zamanda tarımsal kimyasalların biyolojik olarak parçalanmasında da önemli bir rol üstlenebileceğini ortaya koymaktadır. Trichoderma türlerinin sahip olduğu çok yönlü biyolojik işlevler, bu mantarların çilek yetiştiriciliğinde kullanımına ilişkin araştırmaların değerlendirilmesini önemli hale getirmektedir. Bu kapsamda, Trichoderma uygulamalarının çilek büyüme, verim ve hastalık direnci üzerindeki etkilerini inceleyen güncel çalışmalar ele alınmıştır. İspanya'nın güneybatısındaki Huelva bölgesinde üç yıl süren çalışmalarında, toprak solarizasyonu ile Trichoderma uygulamalarının çilek verimi üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Trichoderma hem fide daldırma hem de damlama sulama yöntemi ile uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, solarizasyonun başlangıçta topraktaki Trichoderma popülasyonunu azalttığı ancak ilerleyen yıllarda bu popülasyonun yeniden arttığı ve kök kolonizasyonu üzerinde kalıcı bir olumsuz etki oluşturmadığı belirlenmiştir. Solarizasyon ve Trichoderma 'nın birlikte uygulanması, yalnızca solarizasyon ve kontrol grubuna kıyasla kök kolonizasyonunu ve topraktaki Trichoderma yoğunluğunu arttırmıştır. Uygulamalar sonucunda verimde ikinci yılda %77,6 (solarizasyon) ve %78,2 (solarizasyon + Trichoderma), üçüncü yılda ise %11,0 ve %43,2 oranlarında artış gözlenmiştir. Araştırmacılar, Trichoderma uygulamalarının çilek bitkisinde kök ağırlığını ve verimini anlamlı düzeyde arttırdığını, toprakta artan Trichoderma yoğunluğunun bitki gelişimi ile doğrudan ilişkili olduğunu açıklamışlardır (Porras ve ark., 2007). *Trichoderma viride* ile AM mantarları (*Glomus mosseae* ve *Acaulospora laevis*)'nin tekli ve

kombinasyon halinde çilek bitkisinin büyümesi ve biyokütle üretimi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Uygulamadan 120 gün sonra *A. laevis*+ *T. viride* kombinasyonu, bitki gelişiminde en yüksek değerleri sağladığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar bu uygulamada bitki boyu, taze sürgün ağırlığı, kuru sürgün ağırlığı, taze kök ağırlığı, toplam klorofil içeriği ve kök fosfor düzeyinde belirgin artışlara yol açtığını, tüm parametrelerde kontrol grubuna kıyasla anlamlı gelişmeler saptandığını bildirmişlerdir. *T. viride* ile AM mantarlarının birlikte kullanımının çilek bitkisinin büyüme, biyokütle üretimi, besin elementi alımı ve fotosentetik kapasite üzerinde sinerjik etki oluşturduğunu, çilek tarımında biyogübre olarak kullanılabileceğini açıklamışlardır (Chauhan ve ark., 2010). San Andreas çilek çeşidinde *Trichoderma spp.* ve *Pseudomonas putida* ile yapılan mikrobiyal aşılamanın ve organik gübre uygulamalarının etkilerini incelemişlerdir. Arazi koşullarında yürütülen çalışmada, *Trichoderma spp.* ve *P. putida*'nın birlikte uygulanmasının, yaprak alanını, toprak üstü taze ve kuru biyokütleyi belirgin biçimde arttırdığını bildirilmiştir. *Trichoderma spp.* ile birlikte yapılan gübrelemenin ise bitki başına meyve ağırlığını %40 arttırdığı, ortak aşılamanın ise metrekafe başına meyve sayısını %22 yükselttiği raporlanmıştır. Araştırmacılar, *Trichoderma spp.* ve *P. putida* ile yapılan mikrobiyal aşılamanın ve organik gübre uygulamalarının çilek verimini artırma ve sentetik gübre kullanımını azaltma açısından etkili bir strateji olarak değerlendirilebileceğini açıklamışlardır (Huasasquiche ve ark., 2024). Çilek bitkilerinde *Trichoderma harzianum* ile zenginleştirilmiş biyogübre (TEB), standart besin solüsyonu (SNS) ve bu iki uygulamanın kombinasyonunun (%50 TEB+ %50 SNS) etkilerini sera koşullarında araştırmışlardır. Yapılan analizlere göre, SNS + TEB uygulamasında kontrol grubuna kıyasla verimde %123,07 ile %145,83 oranında anlamlı artış sağladığını bildirmişlerdir. Bununla birlikte SNS + TEB uygulamasının vejetatif büyüme, toplam çözünür kuru madde, Askorbik asit ve toplam şeker içeriği bakımından en yüksek değerlere ulaştığını raporlamışlardır. Araştırmacılar, *Trichoderma* ile zenginleştirilmiş biyogübre nin standart besin solüsyonu ile birlikte kullanılmasının çilek bitkisinin büyüme, verim ve kalite özelliklerini önemli ölçüde arttırabileceğini açıklamışlardır (Khan ve ark., 2021). Çilek bitkilerine uygulanan üç farklı *Trichoderma* türünün (T22, TH1 ve GV41) meyve verimi, metabolit içeriği ve protein profili üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Yapılan uygulamalar sonucunda *Trichoderma* 'nın bitki gelişimini teşvik ettiği, çilek meyve verimini arttırdığı ve

özellikle olgunlaşmış meyvelerde antosiyaninler ile diğer antioksidan bileşiklerin birikimini desteklediğini raporlamışlardır. Lombardi ve arkadaşları araştırmalarının, *Trichoderma* 'nın çilek bitkisi üzerinde olumlu etkiler oluşturduğunun bildirmişlerdir (Lombardi ve ark., 2020a). Çilek yetiştiriciliğinde farklı biyostimülanların (AMF, *Ascophyllum*, *Trichoderma harzianum* ve kombinasyonlarının) fenolojik gelişim, yaprak oluşum hızı ve meyve kalitesi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Rastgele blok deneme deseninde yürüttükleri çalışmada, AMF + *T. harzianum* uygulamasının, en kısa yaprak çıkış aralığı ile en erken meyve oluşumunu ve en yüksek lezzet kalitesini sağladığını açıklamışlardır. Araştırmacılar, AMF ve *T. harzianum* kombinasyonlarının Brezilya koşullarında çilek üretim sürecini kısaltarak meyve kalitesini arttırdığını bildirmişlerdir (Chiomento ve ark., 2024). *Trichoderma atroviride* ve bitki proteini hidrolizatının (V-PH) tek başına veya birlikte uygulamasının, Alpine ve Regina delle Valli orman çileklerinin bitki performansı ve ekonomik getirisi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Alpine çeşidinin en yüksek üretim performansını gösterdiğini, Regina delle Valli'nin ise en iyi meyve kalite özelliklerine sahip olduğunu bildirmişlerdir. *T. atroviride* uygulamasının pazarlanabilir verimi %20,5, toplam şekeri %1,9 ve antosiyanin içeriğini %14,1 arttırdığını raporlamışlardır. İki düzenleyicinin birlikte kullanıldığı grubun kontrol grubuna kıyasla pazarlanabilir verimde %34,8, ortalama meyve ağırlığında %6,0, kuru madde içeriğinde %13,8, toplam şekerlerde %3,5, Askorbik asitte %12,7, flavonoidler içeriğinde %26,3 ve antosiyaninler de %29,9 oranında artış sağladığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar bu uygulamanın verim ve kaliteyi artırarak hektar başına 6208,3 EUR ek kazanç sağladığını açıklamışlardır (Vultaggio ve ark., 2024). Üç farklı *Trichoderma* türünün (6PP, HA, HYTL01) çilekte verim meyve kalitesi ve protein düzeylerine etkilerini incelemişlerdir. 6PP ve HA uygulamaları verim ve meyve sayısını arttırırken, HYTL01 kök gelişiminin desteklemiş ve olgunlaşmış kırmızı meyvelerde toplam çözünür katı madde miktarının %19'a kadar yükseltmiştir. Ayrıca HYTL01 uygulaması askorbik asit ve siyadin 3-0-glukozit birikimini arttırmıştır. Araştırma, *Trichoderma*'nın ürettiği biyoaktif maddelerin, çilek bitkisinde protein üretimi, metabolik süreçler ve stres tepkilerini etkileyerek hem bitki gelişimi hem de meyve kalitesi üzerinde önemli rol oynadığını göstermiştir (Lombardi ve ark., 2020b). *Trichoderma asperellum* (T34) suşunun çilek meyve çürüklüğüne yol açan fungal patojenlere karşı etkisini araştırmıştır. Laboratuvar

koşullarında T34'ün, izole edilen 10 farklı patojenin büyümesini önemli ölçüde baskıladığı bildirilmiştir. Araştırmacılar, *T. asperellum*'un sıvı ekstresinin antimikrobiyal, antibakteriyel, antifungal ve antioksidan özellikler gösteren bileşikler ürettiğini ve bu bileşiklerin patojenlerin büyümesini inhibe edebildiğini tespit etmişlerdir. Tarla denemelerinde ise T34 hem hasat öncesi hem de depolama sonrası çürüklüğü önemli ölçüde azaltmış ve bazı uygulamalarda %90'ın üzerinde koruma sağladığı raporlanmıştır. Ayrıca, T34'ün etkisinin çeşitli kimyasal fungusitlerle benzer düzeyde olduğu da açıklanmıştır (Sonosy ve ark., 2023). *Trichoderma harzianum* preparatlarının etkisini ticari çilek fidanlıkları ve meyve üretim alanlarındaki etkilerini iki ardışık tarla denemesiyle incelemiştir. Uygulama yapılan fidanlık parsellerinde, *Rhizoctonia solani* kaynaklı hastalık şiddetinin yavru bitkilerde %18 ile %46 oranında azalma gösterdiğini bildirmişlerdir. Fidanlık toprağındaki patojen varlığı, toprak örneklerine fasulye ekilerek test edilmiştir. Uygulanan alanlarda, kontrol parsellerine kıyasla toprak bulaşıklığının %92'ye kadar azaldığını tespit etmişlerdir. *T. harzianum* ile muamele edilen topraklara ardışık olarak fasulye fideleri dikildiğinde hastalık belirtilerinde hızlı bir gerileme olduğu bildirilmiştir. Fidanlık aşamasında *T. harzianum* uygulanan ve daha sonra ticari üretim alanına aktarılan çilek bitkilerinde, erken verimde %21-37 oranında artış sağlandığı bildirilmiştir. Bunlarla birlikte araştırmacılar hem fidanlık hem de meyve üretim alanında birlikte yapılan uygulamaların, kontrol gruplarına kıyasla toplamda %20 oranında verim artışı sağladığını açıklamışlardır (Elad ve ark., 1981). Çilekte kök çürüklüğüne yol açan etmenlere karşı *Trichoderma albüm*, *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma viride*, *Trichoderma hamatum* türleri ve "Plant Guard" preparatını laboratuvar ve tarla koşullarında test etmişlerdir. Laboratuvar sonuçlarına göre en yüksek patojen inhibisyonunun *T. Harzianum* (74,67 mm) ve *T. albüm* (71,29 mm) ile sağlandığı açıklanmıştır. Tarla uygulamalarında, mililitrede 30 milyon spor içeren karışımlar kullanılmış ve kök çürüklüğü görülme sıklığının azaldığını bildirmişlerdir. Bitki sağ kalım oranları 2015- 2016 sezonunda *T. harzianum*, *T. albüm*, *T. viride* için sırasıyla %77,0, %72,0, %45,0; 2016-2017 sezonunda ise %67,2, %63,4, %56,7, olarak raporlanmıştır. Uygulamalar meyve verimini arttırmış, toplam fenol içeriği, toplam azot ve klorofil miktarını kontrol grubuna kıyasla anlamlı şekilde yükseltmiştir (Ahmet ve El-Fiki, 2017). Çilek bitkilerinde *Fusarium solgunluğuna* (FWS) karşı direnci arttırmak amacıyla yerel *Trichoderma*

suşlarını içeren mikrobiyal karışım (TASMİX) ile biyokömür (BOC) uygulamasının etkinliğini sera koşullarında incelemiştir. Toprakta FWS etmeni varlığında yapılan uygulamalarda, TASMİX + BOC kombinasyonu hastalık insidansını %49,4, bodurlaşma ve solma şiddetini %55,9, vasküler çürüklüğü ise %57,2 oranında azaltmıştır. Bu kombinasyon patojen yoğunluğunu en fazla düşüren uygulama olmuş, bitkilerde de savunma genlerinin daha hızlı ve güçlü aktivasyonunu sağlamıştır. Araştırmacılar, biyokömür ile desteklenen *Trichoderma* uygulamasının organik çilek üretiminde *Fusarium solgunluğuna* karşı etkili bir entegre mücadele stratejisi olabileceğini araştırmaları ile desteklemiştir (Almasrahi ve ark., 2025). *Trichoderma citrinoviride*'nin çilek bitkilerinde tuz stresi ve *Rhizoctonia solani* enfeksiyonu üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Uygulama sonucunda *T. citrinoviride*'nin *Rhizoctonia solani*'nin gelişimini %79, enfeksiyon düzeyini %63 oranında düşürdüğünü, bitkilerde kuru ağırlığın arttığını PSSII etkinliğinin yükseldiğini, H₂O₂ birikimi ile lipid peroksidasyonunun azaldığını raporlamışlardır. Araştırmacılar, *T. citrinoviride*'nin tuz ve patojen kaynaklı stresleri bastırmada etkili bir biyolojik ajan olduğunu vurgulamışlardır (Sekmen Cetinel ve ark., 2021). İspanya'nın güneybatısındaki çilek bitkilerinde görülen *Macrophomina phaseolina* ve *Fusarium solani*'ye karşı biyolojik mücadele amacıyla, *Trichoderma asperellum* T18 (Prodigy) ve *Bacillus* spp. (Fusbact) içeren iki ticari preparatın etkinliğini değerlendirmiştir. *T. asperellum*'un çilek köklerine daldırma yöntemiyle uygulamasının, kömür çürüklüğü görülme sıklığını büyüme odasında %44, tarla koşullarında %65 oranında azalttığını açıklamışlardır. *Fusarium solani* kaynaklı kök ve gövde çürüklüğünü sera koşullarında %100, tarla koşullarında %81 oranında azaltarak en etkili yöntem olduğunu raporlamışlardır. Pastrana ve arkadaşları araştırma sonuçlarının kimyasal fungusitlerle benzer düzeyde kontrol dağıdığını, *Bacillus* spp. uygulamalarının kömür çürüklüğünde etkili, *Fusarium solani* üzerinde ise çevresel koşullara bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini bildirmişlerdir (Pastrana ve ark., 2016). *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma viride*, *Trichoderma virinis* ve *Trichoderma koningii* türlerinin *Fusarium solani*, *Rhizoctonia solani* ve *Pythium* spp. kaynaklı siyah kök çürüklüğüne karşı etkilerini in vitro ve in vivo koşullarda incelemişlerdir. *T. harzianum*, *T. viride* ve *T. koningii* patojenlerin koloni gelişimini %90'dan fazla azalttığını, dört türün karışımının ise hastalık insidansını %83,3, şiddetini %88,5 oranında azalttığını açıklamışlardır. Karışımın, bitkilerin taze ve kuru ağırlığı ile verimini önemli

ölçüde arttığı, peroksidaz ve kitinaz enzim aktivitelerini de yükselttiği tespit edilmiştir. Araştırmacılar *Trichoderma* suşlarının siyah kök çürüklüğüne karşı etkili biyolojik kontrol ajanları olduğunu ve kimyasal fungusitlere alternatif olarak değerlendirilebileceğini açıklamışlardır (Abd-El-Kareem ve ark., 2019). Meksika çilek üretim alanlarında görülen patojen mantar türleri üzerinde *Trichoderma harzianum* T-H4 suşunun antagonistik kapasitesini değerlendirmiştir. Araştırmada meyve, yaprak, gövde ve kökten toplam sekiz farklı patojen mantar izole edilmiştir. Araştırmacılar, T-H4 suşunun özellikle *Colletotrichum*, *Pestalotiopsis*, *Alternaria*, *Rhizoctonia* ve *Curvularia* türlerine karşı güçlü in vitro etki gösterdiğini raporlamışlardır. Çalışma sonucunda serada ve açık üretim alanlarında biyolojik mücadele çalışmalarının bu izolatlarla yapılabileceği vurgulanmıştır (Morales-Mora ve ark., 2020).

Trichoderma uygulamaları çilek yetiştiriciliğinde yalnızca toprak kökenli hastalıkların baskılanmasında değil, aynı zamanda kök gelişimini desteklemesi, besin alımını arttırması ve stres koşullarına karşı bitkiyi güçlendirmesiyle de öne çıkmaktadır. Bu özellikler çileğin verim ve kalite potansiyelini doğrudan yükseltmekte ve üretim sürecinde sürdürülebilirliği desteklemektedir. Elde edilen bulgular, *Trichoderma* ‘nın çilek yetiştiriciliğinde biyolojik kontrol ajanı olmanın ötesinde üreticiye doğrudan ekonomik fayda sağlayan biyoteknolojik bir araç olduğunu göstermektedir. Üreticiler açısından bu durum kimyasal girdilere bağımlılığın azaltılması, maliyetlerin düşmesi ve çevre dostu bir üretim modeline geçiş anlamına gelmektedir.

Çilek yetiştiriciliğinde *Trichoderma* ‘nın kullanımı hastalık yönetiminde güvenilir çözümler sunarken meyve kalitesini arttırmakta, raf ömrünü uzatmakta ve tüketicinin güvenli gıdaya erişimini kolaylaştırmaktadır. Özellikle organik üretim sistemlerinde kimyasal pestisitlerin yerine kullanılabilecek doğal ve güvenilir bir alternatif olarak *Trichoderma*, organik çilek yetiştiriciliğini destekleyen stratejik bir unsur haline gelmektedir.

Gelecekte yürütülecek araştırmaların farklı *Trichoderma* türlerinin çilek ekolojisine uyumu, uygulama yöntemlerinin geliştirilmesi ve üretici koşullarında uzun vadeli denemeler üzerinde yoğunlaşması, biyolojik mücadeleye dayalı güçlü bir stratejinin temelini atacaktır. Böylece çilek üreticileri için daha güvenli, daha kalıcı ve daha sürdürülebilir bir üretim modeli, mümkün hale gelecektir.

KAYNAKÇA

- Abd-El-Kareem, F., Elshahawy, I. E., & Abd-Elgawad, M. M. (2019). Local Trichoderma strains as a control strategy of complex black root rot disease of strawberry in Egypt. *Bulletin of the National Research Centre*, 43(1), 160.
- Ahmed, M. F. A., & El-Fiki, I. A. I. (2017). Effect of biological control of root rot diseases of strawberry using Trichoderma spp. *Middle East Journal of Applied Sciences*, 7(3), 482-492.
- Almasrahi, A., Alamin, M. Y., Molan, Y. Y., Alhashel, A. F., Widyawan, A., Ibrahim, Y. E., & El-Komy, M. H. (2025). Synergistic effects of Trichoderma asperellum mixture strains and biochar-amended soil on Fusarium wilt of strawberry. *Journal of Plant Pathology*, 1-16.
- Brotman, Y., Kapuganti, J. G., & Viterbo, A. (2010). Trichoderma. *Current Biology*, 20(9), R390-R391.
- Chauhan, S., Kumar, A., Mangla, C., & Aggarwal, A. (2010). Response of Strawberry plant (*Fragaria ananassa* Duch.) to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi and Trichoderma viride. *Journal of Applied and Natural Science*, 2(2), 213.
- Chiomento, J. L. T., Fracaro, J., Görgen, M., Fante, R., Dal Pizzol, E., Welter, M., ... & Palencia, P. (2024). Arbuscular mycorrhizal fungi, ascophyllum nodosum, trichoderma harzianum, and their combinations influence the phyllochron, phenology, and fruit quality of strawberry plants. *Agronomy*, 14(4), 860.
- Elad, Y., Chet, I., & Henis, Y. (1981). Biological control of Rhizoctonia solani in strawberry fields by Trichoderma harzianum. *Plant and Soil*, 60(2), 245-254.
- Howell, C. R. (2003). Mechanisms employed by Trichoderma species in the biological control of plant diseases: the history and evolution of current concepts. *Plant disease*, 87(1), 4-10.
- Huasasquiche, L., Ccori, T., Alejandro, L., Cántaro-Segura, H., Samaniego, T., & Solórzano, R. (2024). Interaction between Trichoderma sp., Pseudomonas putida, and two organic amendments on the yield and quality of strawberries (*Fragaria x annanasa* cv. San Andreas) in the Huaral region, Peru. *Applied Microbiology*, 4(3), 1110-1123.

- Katayama, A., & Matsumura, F. (1993). Degradation of organochlorine pesticides, particularly endosulfan, by *Trichoderma harzianum*. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 12(6), 1059-1065.
- Khan, F., Kim, N. E., Bhujel, A., Jaihuni, M., Lee, D. H., Basak, J. K., & Kim, H. T. (2021). Assessment of combined *Trichoderma*-enriched biofertilizer and nutrients solutions on the growth and yield of strawberry plants. *Journal of Biosystems Engineering*, 46(3), 225-235.
- Lombardi, N., Caira, S., Troise, A. D., Scaloni, A., Vitaglione, P., Vinale, F., ... & Woo, S. L. (2020a). *Trichoderma* applications on strawberry plants modulate the physiological processes positively affecting fruit production and quality. *Frontiers in Microbiology*, 11, 1364.
- Lombardi, N., Salzano, A. M., Troise, A. D., Scaloni, A., Vitaglione, P., Vinale, F., ... & Woo, S. L. (2020b). Effect of *Trichoderma* bioactive metabolite treatments on the production, quality, and protein profile of strawberry fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(27), 7246-7258.
- Morales-Mora, L. A., Andrade-Hoyos, P., Valencia-de Ita, M., Romero-Arenas, O., Silva-Rojas, H. V., & Contreras-Paredes, C. A. (2020). Characterization of strawberry associated fungi and in vitro antagonistic effect of *Trichoderma harzianum*. *Revista mexicana de fitopatología*, 38(3), 434-449.
- Mukherjee, I., & Gopal, M. (1996). Degradation of chlorpyrifos by two soil fungi *Aspergillus niger* and *Trichoderma viride*. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 57(1-4), 145-151.
- Nawrocka, J., Małolepsza, U., Szymczak, K., & Szczech, M. (2018). Involvement of metabolic components, volatile compounds, PR proteins, and mechanical strengthening in multilayer protection of cucumber plants against *Rhizoctonia solani* activated by *Trichoderma atroviride* TRS25. *Protoplasma*, 255(1), 359-373.
- Pastrana, A. M., Basallote-Ureba, M. J., Aguado, A., Akdi, K., & Capote, N. (2016). Biological control of strawberry soil-borne pathogens *Macrophomina phaseolina* and *Fusarium solani*, using *Trichoderma asperellum* and *Bacillus* spp. *Phytopathologia mediterranea*, 109-120.

- Porras, M., Barrau, C., & Romero, F. (2007). Effects of soil solarization and Trichoderma on strawberry production. *Crop Protection*, 26(5), 782-787.
- Rahimi Tamandegani, P., Marik, T., Zafari, D., Balázs, D., Vágvolgyi, C., Szekeres, A., & Kredics, L. (2020). Changes in peptaibol production of Trichoderma species during in vitro antagonistic interactions with fungal plant pathogens. *Biomolecules*, 10(5), 730.
- Sekmen Cetinel, A. H., Gokce, A., Erdik, E., Cetinel, B., & Cetinkaya, N. (2021). The effect of trichoderma citrinoviride treatment under salinity combined to rhizoctonia solani infection in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Agronomy*, 11(8), 1589.
- Sonosy, M. M. K., Abo-Elabbas, F. M., & Elsayed, W. (2023). T34 biocontrol® (*Trichoderma asperellum* strain, t34), a biocontrol agent reducing strawberry fruit rots. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences, F. Toxicology & Pest Control*, 15(2), 121-140.
- Suarez, B., Rey, M., Castillo, P., Monte, E., & Llobell, A. (2004). Isolation and characterization of PRA1, a trypsin-like protease from the biocontrol agent *Trichoderma harzianum* CECT 2413 displaying nematocidal activity. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 65(1), 46-55.
- Tripathi, P., Singh, P. C., Mishra, A., Chauhan, P. S., Dwivedi, S., Bais, R. T., & Tripathi, R. D. (2013). Trichoderma: a potential bioremediator for environmental clean up. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 15(4), 541-550.
- Tyśkiewicz, R., Nowak, A., Ozimek, E., & Jaroszuk-Ścisiel, J. (2022). Trichoderma: The current status of its application in agriculture for the biocontrol of fungal phytopathogens and stimulation of plant growth. *International journal of molecular sciences*, 23(4), 2329.
- Vultaggio, L., Allevato, E., Consentino, B. B., Bellitto, P., Napoli, S., Cannata, C., ... & Sabatino, L. (2024). Joint action of *Trichoderma atroviride* and a vegetal derived-protein hydrolysate improves performances of woodland strawberry in Italy. *Horticulturae*, 10(5), 459.

BÖLÜM 2

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE KURAKÇIL ÇÖZÜMLER VE KENTSEL SU TASARRUFU

Dr. Öğr. Üyesi Alper GÜNGÖR¹

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.17969524>

¹ Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Kırşehir, Türkiye. alper.gungor@ahievran.edu.tr, orcid id: 0000-0002-1993-5725

1. GİRİŞ

Su, dünya genelinde ciddi bir şekilde baskı altında olan ve gelecekte güç unsuru kabul edilebilecek doğal bir kaynaktır. Su varlığı bakımından, tüm dünyada kurak ve yarı kurak alanlar, hem daha az yağış alır hem de daha yüksek buharlaşma oranlarına sahiptir. Bu nedenle, çoğu kurak ve yarı kurak alanlarda kısıtlı suyun varlığı büyük bir endişe kaynağıdır. Buna ek olarak yüksek su talebi ve yanlış bitki seçimi mevcut su kaynakları üzerinde daha fazla yüke sebep olarak tehdit oluşturmaktadır. İklim faktörleri, özellikle yağış rejimlerindeki değişkenlik, bölgesel ve mevsimsel yaşanan kuraklık ve yüksek bitki su tüketimine sahip bitki deseni su yönetimini zorlaştıran ve aşamaz duruma iten başlıca nedenlerdir. Biyokütle üretimi için düşük olan doğal su varlığı koşulları, özellikle az ve düzensiz dağılmış yağışla karakterize edilen kurak ve yarı kurak bölgelerde önemli bir kısıtlamadır. Tüm bunlara kaynak gösterilen iklim değişikliğinden dolayı giderek artan olumsuz sonuçlar birçok alanda etkisini göstermektedir. İklim değişikliğinin bu geniş kapsamlı etkileri, şehir planlaması, mühendislik ve peyzaj mimarlığı gibi disiplinlerin, çevresel riskleri en aza indirmeye yönelik stratejik müdahaleler geliştirmesini zorunlu kıldığı belirtilmiştir (Opdam ve ark., 2009). Yapılan bir çalışma; iklim değişikliğinde görülen etkilerin ekonomik yönlerine ve zamanında çözüm odaklı yaklaşımlar geliştirmeye, bu durumun maliyetine ve bu durumdan sağlanacak faydalara odaklanan Stern İncelemesi olarak kayıtlara geçmiştir. (Stern, 2007). Bu kapsamlı ve etkili yayınlar, geniş bir okuyucu kitlesine ulaşmakta ve beş ana tema etrafında gruplandırılan pek çok bilimsel disiplinden gelen sayısız araştırma ile desteklenmektedir: Bunlar (Opdam ve ark., 2009; Duymuş, 2025);

- (1) iklim değişikliği modellerinin izlenmesi, gelecekteki iklim modellerinin tahminleri de dahil olmak üzere tarihi iklim değişikliğinin yeniden yapılandırılması,
- (2) iklim değişikliğinin ekosistemlerin, manzaraların, türlerin dağılımı ve bunların etkileşimleri üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkilerinin hesaplanması,
- (3) sosyo-ekonomik ve politik sistemler üzerindeki etkiler,
- (4) arazi kullanım değişikliği yoluyla azaltma da dahil olmak üzere sera gazlarının artışı yavaşlatmak veya durdurmak için stratejiler ve önlemler

(5) iklim değişikliğinin etkilerini azaltmak ve doğal ve sosyo-ekonomik sistemlerin yanıt verme fırsatlarını iyileştirmek için arazi kullanım modellerinin uyarlanmasıdır.

Ekolojik anlamda yeraltı ve yer üstü su kaynakları, biyoçeşitlilik ile ilişkilendirilmeli ve alınacak önlemler ile hem su hem biyoçeşitlilik korunmalıdır. Yapılan son çalışmalarda buna odaklanmış durumdadır. Bu alanlardaki temel amaçlar, biyoçeşitliliği tüm boyutlarıyla (tür ve genetik çeşitlilik, yaşam alanı çeşitliliği ve ekolojik süreç zenginliği) koruma ilkesi etrafında şekillendiği belirtilmiştir. Bu kapsamda hedeflenenler ise şunlardır (Gül, 2005, Gül ve Metin, 2021):

- Koruma ve İyileştirme:
 - Bilimsel araştırmalar yürütmek.
 - Çevresel koşullarda rehabilitasyon sağlamak ve iyileştirmek.
 - Mevcut doğal ve kültürel peyzaj varlıklarını olumsuz etkilerden korumak.
 - Yaban hayatını tehditlere karşı dolaylı yoldan korumak.
- Sürdürülebilirlik ve Kalkınma:
 - Doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımını sağlamak ve güvence altına almak.
 - Bölgenin sosyal gelişiminin yanı sıra ekonomik büyümesine dolayısıyla refahına katkıda bulunmak.
- Eğitim ve Farkındalık:
 - Bireylerin ve toplumun eğitim seviyesini yükseltmek.
 - Bireyler arasında çevreye karşı farkındalık oluşturmak ve bilinç düzeyini artırmak.
- Kültürel Miras:
 - Kültürel değerleri doğal çevreleriyle birlikte korumak ve geliştirmek.
- Hizmet ve Katkı:
 - Turizm ve rekreasyon faaliyetlerine hizmet sağlayarak bölgeye katkıda bulunmak.

Tüm bu varlıkların korunması, amaca yönelik yönetilebilmesi ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılması ülke için hayati önem taşımaktadır. Bunların ötesinde de, iklim kaynaklı adaptasyon ve bitki desende iyileştirme

çalışmaları ile kullanılabilir su kaynakları üzerindeki yükleri azaltarak gelecek nesillere sunulması en etkili ve doğru yol olacaktır.

2. SU VARLIĞI VE SU TASARRUFUNA YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR

Türkiye yarı kurak iklim özelliklerine sahiptir. Bunun yanında Ülkenin üç tarafının denizlerle çevrili bir yarımada olması ve yüksek dağların iç kesimler ile kıyıları birbirinden ayırışı öte yandan kısa mesafelerde görülen ani topografik değişiklikler iklim özelliklerinin değişkenlik göstermesine sebep olmaktadır. Bununla birlikte; Sıcaklık, nem, buharlaşma, yağış rejimi ve rüzgârlar da iklim özellikleri doğrultusunda değişkenlik göstermektedir.

Türkiye toplamda 26 hidrolojik havzaya ayrılmış durumdadır. Havzaların ortalama yıllık akışları 186 milyar m³'tür. Ancak havza verimleri birbirinden farklıdır. Fırat ve Dicle havzaları başta olmak üzere Doğu Akdeniz havzası, Doğu Karadeniz havzası ve Antalya havzası toplam ülke potansiyelinin yaklaşık %48'ine sahiptir (DSİ, 2025). Bu durum suların havza bazında bir eşitsizliği olduğunu göstermektedir. Öte yandan havzalardaki akış miktarı ile hizmet veridkleri nüfus arasında da çeşitli istikrarsızlıklar gözlenmektedir. Örneğin, toplam nüfusun %28'lik bölümünün yaşadığı Marmara Havzası, toplam akışın yalnızca %4'üne sahiptir. Benzer şekilde Kızılırmak, Sakarya, Büyük Menderes, Küçük Menderes, Konya Kapalı Havzası gibi havzalarda da akış miktarları ile hizmet edilen nüfus arasında önemli oransal farklılıklar bulunmaktadır. Bu kaynak kullanım dengesizliği, su kullanımını havza bazında doğrudan etkilemekte ve su sıkıntısının ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Aküzüm ve ark., 2010). Havza bazından bölgesel ve alansal farklılıklara sebep olan bu değişim bitki deseninin şartlara göre revize edilerek geliştirilmesi gerektiğine işaret etmektedir. İklim kaynaklı adaptasyon, bir şeylerin değiştirilebileceğini ve bu değişimin etkili olduğunu varsayar. İklim değişiklikleri nedeniyle bir peyzaj sürecinde öngörülen herhangi bir değişikliğin, insanlar için ne anlama geldiğine aktarılması gerektiği anlamına gelir; bu tamamen değerler, kâr ve güvenlikle ilgilidir. Öngörülen değer kaybı, peyzaj değişikliğini meşrulaştırmalıdır. Ayrıca, süreçte gerekli olan değişikliğin (değer kaybına neden olan) peyzaj deseninin veya arazi kullanımının yeniden şekillendirilmesiyle hafifletilmesi veya önlenmesi anlamına gelir. Örneğin, iklim değişikliği daha sık yağmur suyu taşkınlarına

neden oluyorsa ve bu bir güvenlik ve ekonomik sorun olarak algılanıyorsa, peyzajın fiziksel özellikleri, peyzaj hizmetinin su depolama kapasitesini karşılayacak şekilde uyarlanabilir (Opdam ve ark., 2009). Aksi takdirde iklim değişikliği kuraklığı tetikliyor ve su kullanımını kısıtlıyorsa bu sefer de bitki deseninde revize yoluna gidilerek kurak koşullara elverişli, su tüketimi düşük bitkisel tasarım geliştirilebilir. İnsanlardan kaynaklanan faaliyetlerde, özellikle de gelişigüzel uygulamala örnekleri, dünyanın en değerli ekosistemlere sahip alanların kaybını hızlandırmaktadır (Güngör, 2025).

Çoğu insan için kuraklık, kavramsal olarak izleyicinin zihninde kuru toprakların bir görüntüsünü çağrıştırır; bu görüntü, bitki örtüsü zayıf ve kumlu-çakıllı alanlar içeren çeşitli çorak arazileri içerir (Ghiassee ve ark., 2020). Xeriscape: Su tasarrufu sağlayan bir peyzaj türünü ifade eden bir terimdir (Weinstein, 1999). Xeriscape, peyzajda ek sulama ihtiyacını azaltarak yeşil alan sorunlarını çözmek için yaratıcı bir çözüm sunar (Wescoat, 1996). Bu terim ilk olarak 1981 yılında Denver Su İdaresi ve Peyzaj Müteahhitleri Derneği'nin yeşil alanları artırmak için halkın katılımını kullanan bir program geliştirmek üzere bir araya gelmesiyle kullanılmıştır. Bu fikir diğer Amerikan eyaletleri tarafından hızla benimsenmiş ve 1986'da Ulusal xeriscape Derneği kurulmuştur. Dernek, "xeroscape" kelimesini ticari marka olarak tanıtmıştır (Sarami, 2012). Verilen tanımlara dayanarak, "xeroscape"nin neden yağmurla beslenen peyzaja bu kadar yakın olduğu açıklanmaktadır. Son çalışmalarda ise; Amerika Birleşik Devletleri'ndeki New Mexico Xeriscape Konseyi (xcnm, 2011) tarafından tanımlandığı gibi, xeriscape bir kavram olarak sadece belirli bir bahçe tasarım yöntemi olmayıp doğaldan biçimsele kadar çeşitli peyzaj tasarımlarına uygulanabilen, özellikle su kaynaklarını korumaya yönelik genel bir strateji olarak görüldüğü belirtilmiştir (Jahangiri ve ark., 2025). Yapılan son çalışmalar peyzaj tasarımlarını kurak koşullara uyarlama ile ilgilidir. Ayanoglu ve ark., (2023)'de bu konuda yaptıkları araştırmaya göre; kurakçıl peyzaj ile klasik peyzaj tasarım kıyaslaması yaparak su tüketimi ve ekonomik değer ile ilgili bilgileri değerlendirmişlerdir. Çalışma sonucunda ise; kurakçıl peyzaj fikri ile yapılan tasarımlar, klasik peyzaj fikrine göre oluşturulan tasarımlarla kıyaslandığında elektrik tüketiminde %36, bir fark görülürken, bakım masraflarında %64, su tüketiminde %54, ve uygulama maliyetlerinde ise %5 oranında tasarruf sağlandığını kaydetmişlerdir.

Türkiye orta ve uzun vadede ciddi su sorunları ile karşılaşmaya aday bir ülkedir. Bundan dolayı, Türkiye'nin gelecek nesillere daha sağlıklı ve kendi kendine yetecek düzeyde kullanılabilir su bırakabilmesi adına kaynaklarını iyi koruması ve akılcı yönetmesi gerekmektedir.

3. REKREASYON ALANLARDA SU VERİMLİLİĞİ STRATEJİLERİ

Sulama; İklimsel özelliklerin sonucunda doğal olarak düşen yağışın düzensiz ve yetersiz olması durumunda, ekili veya dikili alanlarda sağlıklı büyüme sağlanabilmesi için, belirli programa göre, kaynağından alınarak çeşitli yöntemler ile toprağa verilmesidir. Bu amaçla, bitkilerden olan terleme ve toprak yüzeyinden olan buharlaşma sürecinde kaybedilen suyun tekrar kazandırılması sağlanır. Böylece toprak ile bitki arasındaki su ilişkisinde denge sağlanabilmektedir. Aksi halde bitkide abiyotik stres olan su stresi oluşur. Her bitkinin su stresine olan toleransı farklıdır. Bazı bitkiler düşük tolerans gösterirken bazıları yüksek tolerans göstermektedir. Düşük tolerans gösterenlerde, genel olarak stoma sayısı fazla olup kapanma refleksinin yavaş olmasından terleme daha fazla görülmektedir. Bu durum, suya ihtiyacını artırır ve kökler aracılığı ile toprak içerisindeki suyu daha çok çekme eğilimi gösterirler. Bu bitkilerde geniş veya ince yapraklı olabilir ancak geniş yapraklı olanlar yaprak alanının fazla olmasından kaynaklı daha yüksek su kaybı yaşarlar. Bunlara ek olarak bu bitkilerde daha çok sığ ve yüzeysel kökler mevcuttur. Bu nedenle toprak derinliklerindeki suya erişemez yüzeydeki kısıtlı toprak neminden faydalanırlar ve nem eksikliği ile hızlı bir şekilde kururlar. Yüksek toleransa sahip bitkilerde ise durum daha farklı ilerler. Kökleri daha derinlere giderek toprak katmanları arasında depolanmış suyu kullanırlar. Bu bitkilerde etli yapraklar ve gövdeler mevcuttur. Bu sayede bünyelerinde suyu depolayabilir ve ihtiyaç dahilinde uzun süre kökleri aracılığı ile su çekmeye ihtiyaç duymadan kuru toprak koşullarında dahi yaşarlar. Ayrıca bünyelerindeki nemi uzun süre muhafaza edebilecekleri fiziksel ve morfolojik yapılarının yanında iyi gelişmiş antioksidan sistemlere sahiptirler. Küçük ve ince yapılı yapraklar, güneş ışınlarını yansıtarak sıcaklıklarını kontrol edebilecekleri renkler, tüysü yaprak ve gövde yapıları ile havadaki nemi kullanabilme yetenekleri ve kalın kutikula tabakaları sayesinde bünyelerindeki suyun dışarı çıkmasını engelleme yetenekleri bunlardan bazılarını oluşturur.

Ayrıca bu bitkiler, gelişmiş antioksidan mekanizmaları sayesinde, içsel osmotik düzenleme ile hücre içi çözünen madde miktarını artırarak, kuru toprak koşullarında dahi topraktan nem çekme yeteneği gösterirler. Bu durumda bitkilerin su tüketimleri toleransı doğrultusunda değişkenlik göstermektedir.

İklim değişikliğine uyum stratejileri, kentsel alanlarda, özellikle peyzaj tasarımlarında kuraklığa toleranslı bitki deseni oluşturma ile mümkündür. Bunu peyzaj alanlarında sıklıkla kullanılan basınçlı sulama yöntemleri izlemektedir. Peyzaj alanlarında basınçlı yöntemler kullanılsa da kullanım süresi suya olan ihtiyacı belirlemektedir. Kentsel alanlarda özellikle peyzaj düzenlemesi yapılan alanlarda su tüketimini en aza indirmek kaynaklar üzerindeki yükü hafifletmesinin yanında, kurak ve yarı kurak alanlarda yüksek görselliğe sahip ve uzun soluklu tasarımlar oluşturmaya zemin hazırlayacaktır. Yapılan çalışmaya göre; klasik peyzaj düzenlemesine yönelik tasarlanan sulama sistemi için depo hacmi hesaplamaları sonucunda iki adet yağmurlama sulama hattı kullanılmış olup 54 dakika sürede ve iki adet damla sulama hattı kullanılmış olup 48 dakika olmak üzere toplamda 102 dakikalık bir sulama süresi tespit edilmiştir. Diğer taraftan, kurakçıl peyzaj anlayışı çerçevesinde yapılan ilk depo hacmi etüdünde, Meteoroloji Mühendisleri Odası tarafından geliştirilen yağmur suyu verim hesaplama modeli kullanılmıştır. Bu ilk analiz, planlanan yağmur suyu deposundaki suyun, bahçe sulaması ihtiyacını yalnızca 20 gün süreyle karşılayabileceğini göstermiştir. Sonuç olarak, kurakçıl peyzaj için yapılan revize depo hesabında, bir adet yağmurlama sulama hattı için 25 dakika ve bir adet damla sulama hattı için 30 dakika olmak üzere toplam 55 dakikalık bir sulama süresi belirlenmiştir (Ayanoğlu ve ark., 2023). Ayrıca su tasarrufu sağlamak için yapılan son çalışmalarda bitki deseni ile birlikte bazı alanlarda doğal taşlar, organik malçlama ile buharlaşmayı engelleme ve yürüme yolları ile yapılan tasarımlar dikkat çekmektedir (Sovocool ve ark., 2005; DeNicola ve ark., 2015; Sezen ve ark., 2018). Bu tasarımlarda en önemli unsurlardan bir tanesi de su tüketimi yüksek olan çim alanların kullanımının azaltılması ile su tasarrufu sağlamaktır. Bunun yanında su tüketimini etkili bir şekilde azaltarak su yönetiminin daha kontrollü olmasını sağlayan malçlama tekniklerinin kullanılması peyzaj konseptinde sürdürülebilirliği ön plana taşıyacak diğer bir alternatiftir. Ismaeil ve Sobaih (2022), yaptıkları çalışmada; kentsel su tüketimini düşürmede peyzaj uygulamalarının potansiyelini değerlendirmeye

odaklanmışlardır. Bu amaçla geleneksel kentsel tasarıma kıyasla xeriscape peyzaj tasarımı kullanmışlardır. Çalışmada su kullanımı açısından belirli bölgelere ayırdıkları alanların sulanmasında damla sulama yöntemi kullanmış ve düşük su tüketimi olan bitki deseni seçmişlerdir. Ayrıca çim alanları azaltılarak sert zemin uygulamalarına yer verildiği dikkat çekmiştir. Çalışma sonucunda ise; geleneksel yöntemden xeriscape yöneme geçişle ortalama olarak %41 oranında su tüketiminde azalma sağlandığını vurgulamışlardır.

Ülkemizde sulama ile ilgili yaşanan en büyük sorun, su yönetimine gereken özenin verilmeyişidir. Tarımsal su yönetiminde çok büyük paya sahip olan kuraumların başında gelen sulama birlikleri, mevcut toprak, iklim, bitki koşullarına uygun, su-verim ilişkilerini göz önünde bulunduran etkin bir planlı su dağıtımını değil, özellikle kişi talebini benimseyen bir su dağıtım yönetimini uygulamaktadır. Ülkemizde kişilerin suyu bilinçsiz bir şekilde kullanmaları, toprak ve su kaynaklarının yanı sıra ülke ekonomisine de zarar vermektedir. Bilinçsiz sulama yönetimi nedeniyle ülkemiz sınırlarında binlerce dekar alan kullanılamaz hale gelmiştir (Aküzüm ve ark., 2010).

4. SONUÇ

Kurak ve yarı kurak iklim kuşağında yer alan ve hızla gelişme gösteren ülkeler için suyun varlığı ve suya erişim olanakları sulama yönetimini sınırlandıran en önemli unsurdur. 21. yy.'ın özellikle ikinci yarısında etkisini artıran küresel ısınma faktörleri su kullanım imkanlarını daraltmış ve kaynakları olumsuz etkilemiştir. Bu durum sektörler arası suya erişim rekabeti oluşturmakla kalmayıp özellikle tarım alanlarında üretim akışını kesintiye uğratmış ve tedarik zincirinin sürekliliğini tehlikeye sokmuştur. Özellikle sulama amacıyla harcanan su miktarı düşünüldüğünde sektörde yapılan bilinçsiz su kullanımının önüne geçilmesi gerekmektedir. Bunun için su tüketiminin en çok paya sahip olduğu, tarım ve peyzaj alanlarında tasarruflu su kullanımı ve yönetimini teşvik edici uygulamalar hayata geçirilmelidir. Bitki özelinde, bitkinin su ihtiyacının belirlenmesinden kuraklık eşik değerinin bilinmesine, sulama planlamasından sulama yöntemlerine kadar ne zaman ne kadar sulama suyu kullanılacağına tespit edilmesi şarttır. Geleneksel kentsel rekreasyon çalışmaları su kaynakları üzerinde yoğun bir yük oluşturmaktadır. Özellikle bitki deseni ve tasarımda yer verilen materyaller ile peyzaj alanların sürekli bakım ve yenileme ihtiyacı aşırı su kullanımını tetiklemektedir. Bununla

birlikte yeteri kadar su ihtiyacı karşılanamayan bitkilerde görselliğin bozulması kaçınılmaz olmaktadır. Bunun yerine tasarım aşamasında kısmi alanlar oluşturularak, bu alanlara su tüketimi düşük, su kullanım etkinliği yüksek bitki deseni uygulanarak kurak koşullara toleranslı seçimlere yer verilmesi en uygun çözüm önerilerindendir. Ayrıca, tüm yeşil alanlarda sulama suyunun verimli kullanılması, su tüketimini optimize eden ileri düzey sulama tekniklerine yer verilmesi, rekreasyon alanlarda su hasadı tekniklerine yer verilmesi ve bu konudaki stratejilerin geliştirilmesi ile kentsel alanlardaki yaşam kalitesini maksimize etmek sürdürülebilir su yönetiminde öncelikli gerekliliktir.

KAYNAKÇA

- Aküzüm, T., Çakmak, B., and Gökalp, Z. (2010). Türkiye’de su kaynakları yönetiminin değerlendirilmesi. *International Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 3(1), 67-74.
- Ayanoğlu, Z., & Demirel, K. (2023). Kurakçıl peyzaj ile klasik peyzaj tasarımının kıyaslanması: konut bahçesi örneği. *Türkiye Peyzaj Araştırmaları Dergisi*, 6(2), 156-176.
- DeNicola, E., Aburizaiza, O. S., Siddique, A., Khwaja, H., & Carpenter, D. O. (2015). Climate change and water scarcity: The case of Saudi Arabia. *Annals of global health*, 81(3), 342-353.
- DSİ. (2025). <http://www.dsi.gov.tr/topraksu.htm>
- Jahangiri, L., & Mehrabanigolzar, M. (2025). A Dryland Landscape or a Rainfed Landscape? Which Concept is Xeriscape Closer to?. *MANZAR, the Scientific Journal of landscape*, 17(71), 70-81.
- Duymuş, H. (2025). İklim Değişikliğinin Peyzaj Tasarımına Etkisi: Sürdürülebilirlik, Dirençlilik ve Adaptasyon Yaklaşımları. *Resilience*, 9(1), 141-166.
- Ghiassee, M., Sheybani, M., Habibi, A., & Goli, A. (2020). Aridity and Landscape Evaluation of the Landscape Indices in Drylands. *Manzar*, 11(49), 14-25. <https://doi.org/10.22034/manzar.2019.192164.1976>
- Gül, A. (2005). Korunan doğal alanlarda planlama sorunları ve ekolojik yönetim planı önerisi, I. Çevre ve Ormancılık Şurası, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, (22- 24, Mart, 2005), Doğa Koruma, Cilt:4, 1421-1429, Antalya, 2005.
- Gül, A. and Metin, A. E. (2021). Legal and Administrative Current Situation and Problems of Protected Areas. In JASA Editors (Eds.), *Architectural Sciences And Protection \& Conservation \& Preservation* (pp. 1–62). Iksad Publications.
- Güngör, A. (2025). The Impact of Agricultural Activities on Wetland Ecology and the Preservation of Sustainability. *Black Sea Journal of Agriculture*, 8(6), 903-908.
- Ismaeil, E. M., and Sobaih, A. E. E. (2022). Assessing xeriscaping as a retrofit sustainable water consumption approach for a desert university campus. *Water*, 14(11), 1681.

- Opdam, P., Luque, S., and Jones, K. B. (2009). Changing landscapes to accommodate for climate change impacts: a call for landscape ecology. *Landscape ecology*, 24(6), 715-721.
- Sarami, J. (2012). Designing the environment and landscape of dry areas based on the xeriscaping approach (landscape design with low water requirements) and localization based on the country's natural and cultural conditions [Master's thesis, University of Tehran]. <https://noordoc.ir/thesis/48846>
- Sezen, İ., Esringü, A., and Yardımcı, K. S. (2018). Water efficient use for sustainability of water resources in urban areas: Xeriscape. *Kent Akademisi*, 11(4), 474-485.
- Stern, N. H. (2007). *The economics of climate change: the Stern review*. cambridge University press.
- Sovocool, K. A., and Morgan, M. (2005). Xeriscape conversion study. *Southern Nevada Water Authority*, 93.
- Weinstein, G. (1999). *Xeriscape Handbook: A How-to Guide to Natural Resource-Wise Gardening*. Chicago Review Press – Fulcrum
- Wescoat, L. J. (1996). *A geographical perspective on sustainable landscape design in arid environments*. The Aga Khan Trust for Culture: A Symposium. Washington, D.C.: Dumbarton Oaks.

BÖLÜM 3

BAŞARILI BİR HERBİSİT UYGULAMASI İÇİN STRATEJİK KILAVUZ

Doç. Dr. Fırat PALA¹

Prof. Dr. Hüsrev MENNAN²

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.17969533>

¹ Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Siirt, Türkiye. (Sorumlu Yazar: fiiratlala@siirt.edu.tr, ORCID: 0000-0002-4394-8841)

² Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Samsun, Türkiye. (hmennan@omu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-1410-8114)

1. GİRİŞ

Tarımsal üretim, artan dünya nüfusunu besleme zorunluluğu ile doğal kaynakların sürdürülebilirliği arasında hassas bir denge kurmak zorundadır. Bu dengenin sağlanmasındaki en büyük biyotik engellerden biri, insanlık tarihi boyunca tarımsal faaliyetlerin ayrılmaz bir parçası olan yabancı otlardır. Yabancı otlar, kültür bitkileriyle su, besin maddeleri, ışık ve yaşam alanı için rekabete girerek verimi doğrudan düşürmekte, hasat işlemlerini zorlaştırmakta ve ürün kalitesini olumsuz etkilemektedir (Zimdahl VE Basinger, 2024). Küresel ölçekte, yabancı otların neden olduğu yıllık ürün kaybının toplam üretimin yaklaşık %10'una, yani yüz milyarlarca dolara tekabül ettiği tahmin edilmektedir (Oerke, 2006).

Yirminci yüzyılın ortalarında sentetik herbisitlerin keşfiyle başlayan kimyasal mücadele dönemi, tarımda verimliliği artırmış ve iş gücü ihtiyacını azaltmıştır. Ancak, bu "kimyasal çağ", herbisit direnci, çevre kirliliği ve biyoçeşitlilik kaybı gibi yeni ve karmaşık sorunları da beraberinde getirmiştir. Bugün, dünya genelinde yüzlerce yabancı ot türünün onlarca farklı herbisit grubuna karşı direnç geliştirdiği rapor edilmiştir (Heap, 2021). Bu durum, sadece kimyasal mücadeleye dayalı modelin sürdürülebilirliğinin sınırlarına geldiğini göstermekte ve daha bütüncül yaklaşımlara olan ihtiyacı artırmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, yabancı ot yönetiminde geleneksel yöntemlerden modern, teknoloji odaklı ve ekolojik temelli stratejilere geçişi incelemektir. Çalışma, Entegre Yabancı Ot Yönetimi (EYY) prensiplerini, Hassas Tarım teknolojilerinin (dronlar, robotik, yapay zeka) potansiyelini, herbisit direnci yönetimini ve biyoteknolojik yenilikleri kapsamlı bir şekilde ele alarak, geleceğin sürdürülebilir tarım vizyonuna katkı sağlamayı hedeflemektedir.

2. YABANCI OT BİLİMİ VE YÖNETİMİNİN TEMELLERİ

2.1. Temel Kavramlar ve Sınıflandırma

Yabancı ot bilimi (Herboloji), yabancı otların biyolojisi, ekolojisi ve yönetimi üzerine odaklanan multidisipliner bir bilim dalıdır. Yabancı otlar, bulundukları yerde istenmeyen, genellikle rekabet gücü yüksek ve istilacı karaktere sahip bitkiler olarak tanımlanır. Sınıflandırma, yaşam sürelerine (tek yıllık, iki yıllık, çok yıllık) ve morfolojik özelliklerine (geniş yapraklı, dar

yapraklı) göre yapılır. Bu sınıflandırma, doğru yönetim stratejilerinin belirlenmesinde kritik öneme sahiptir.

2.2. Yönetim Sistemlerinin Evrimi

Yabancı ot yönetimi, tarihsel süreçte insan ve hayvan gücüne dayalı fiziksel yöntemlerden, makineleşme ile birlikte mekanik yöntemlere ve son olarak kimyasal yöntemlere evrilmiştir. Günümüzde ise, bilgi ve teknolojinin entegre edildiği "akıllı" ve "hassas" yönetim sistemlerine doğru bir geçiş yaşanmaktadır. Bu evrim, sadece araçların değişimi değil, aynı zamanda doğayla mücadele anlayışından doğayı yönetme anlayışına geçişi temsil etmektedir.

3. ENTEGRE YABANCI OT YÖNETİMİ (EYY)

Entegre Yabancı Ot Yönetimi (EYY), tek bir yönetime bağımlı kalmak yerine, mevcut tüm kontrol yöntemlerini (önleyici, kültürel, mekanik, biyolojik ve kimyasal) uyumlu bir şekilde bir araya getiren bütüncül bir stratejidir (Swanton & Weise, 1991). EYY'nin temel amacı, yabancı ot popülasyonlarını ekonomik zarar eşiğinin altında tutarak, üretim maliyetlerini düşürmek ve çevresel etkileri en aza indirmektir.

3.1. Önleyici ve Kültürel Yöntemler

Önleyici yöntemler, yabancı otların tarlaya girişini ve yayılmasını engellemeyi amaçlar. Sertifikalı tohum kullanımı, tarım aletlerinin temizliği ve tarla kenarlarının yönetimi bu kapsamda değerlendirilir. Kültürel yöntemler ise, ekim nöbeti, örtücü bitki kullanımı, uygun ekim sıklığı ve zamanlaması gibi uygulamalarla kültür bitkisinin rekabet gücünü artırmayı hedefler.

3.2. Mekanik ve Fiziksel Yöntemler

Toprak işleme, çapalama, malçlama ve alevle yakma gibi yöntemler, yabancı otları fiziksel olarak yok etmek veya gelişimlerini engellemek için kullanılır. "Yabancı tohum yatağı" tekniği, ekim öncesi otların çimlendirilip yok edilmesiyle tohum bankasının azaltılmasında etkili bir yöntemdir.

3.3. Biyolojik Kontrol

Biyolojik kontrol, yabancı otların doğal düşmanlarını (böcekler, patojenler) kullanarak popülasyonlarını baskılamayı amaçlar. Klasik biyolojik mücadele ve biyoherbisitler bu alandaki ana yaklaşımlardır. Allelopati,

bitkilerin salgıladığı kimyasallarla diğer bitkilerin gelişimini engellemesi olgusu da biyolojik bir baskılama mekanizması olarak değerlendirilebilir (Farooq et al., 2011).

3.4. Kimyasal Kontrol ve Herbisitler

Herbisitler, EYY piramidinin tepesinde yer alır ve diğer yöntemler yetersiz kaldığında başvurulacak bir araç olarak görülmelidir. Herbisitlerin etki mekanizmalarına göre sınıflandırılması (HRAC kodları), direnç yönetimi için hayati önem taşır. Doğru doz, doğru zamanlama ve rotasyon, kimyasal mücadelenin etkinliği ve sürdürülebilirliği için temel kurallardır.

4. HASSAS YABANCI OT YÖNETİMİ VE TEKNOLOJİK GELİŞMELER

Hassas Tarım teknolojileri, yabancı ot yönetiminde devrim niteliğinde değişiklikler sunmaktadır. "Tüm tarlayı değil, sadece sorunu tedavi etme" felsefesine dayanan bu yaklaşım, girdilerin optimizasyonunu ve çevresel etkilerin azaltılmasını sağlar.

4.1. Dron (İHA) Teknolojileri

Dronlar, üzerlerine entegre edilen yüksek çözünürlüklü kameralar ve sensörler (RGB, multispektral, hiperspektral) aracılığıyla tarladaki yabancı otların tespiti ve haritalanmasında kullanılır. Toplanan veriler, yapay zeka algoritmaları ile işlenerek yabancı ot yoğunluk haritaları oluşturulur ve bu haritalar "nokta atışı" ilaçlama (spot spraying) için kullanılır (Tsouros et al., 2019).

4.2. Robotik ve Otonom Sistemler

Otonom tarım robotları, tarlada gezerek yabancı otları tespit eder ve mekanik, termal (lazer) veya kimyasal (mikro doz ilaçlama) yöntemlerle yok eder. Bu sistemler, "gör ve püskürt" (see & spray) teknolojileri ile birleştiğinde, herbisit kullanımını %90'a varan oranlarda azaltma potansiyeline sahiptir (Fennimore et al., 2016).

4.3. Yapay Zeka ve Veri Analitiği

Yapay zeka (AI) ve makine öğrenmesi (ML) algoritmaları, toplanan büyük veriyi analiz ederek yabancı ot türlerini tanımlar ve en uygun mücadele stratejisini belirler. Derin öğrenme modelleri, "yeşil üzeri yeşil" (kültür bitkisi

içinde yabancı ot) ayırımını yüksek doğrulukla yapabilmektedir (Gao et al., 2020).

5. HERBİSİT DİRENCİ VE YÖNETİMİ

Herbisit direnci, modern tarımın en acil krizlerinden biridir. Aynı etki mekanizmasına sahip herbisitlerin sürekli kullanımı, dirençli yabancı ot popülasyonlarının seçilimini ve yayılmasını hızlandırmıştır. Direnç yönetimi, farklı etki mekanizmalarının rotasyonu, tank karışımları ve kültürel/mechanik yöntemlerin entegrasyonunu gerektirir. Ayrıca, direnç mekanizmalarının moleküler düzeyde anlaşılması, yeni stratejilerin geliştirilmesi için kritiktir (Heap, 2024).

6. BİYOTEKNOLOJİK YENİLİKLER

Biyoteknoloji, yabancı ot yönetiminde yeni ufuklar açmaktadır. RNA interferans (RNAi) teknolojisi, hedefe özgü gen susturma yoluyla biyoherbisit geliştirme potansiyeli sunarken, CRISPR-Cas9 gibi gen düzenleme araçları, kültür bitkilerinin rekabet gücünü artırmak veya yabancı otların dormansi mekanizmalarını bozmak için araştırılmaktadır (Westwood et al., 2018).

7. SONUÇ

Yabancı ot yönetimi, geleneksel "kaba kuvvet" yaklaşımlarından modern "akıllı stratejilere" doğru evrilmektedir. Gelecekte gıda güvenliğini sağlamak, sadece daha fazla üretmekle değil, aynı zamanda daha akıllı, verimli ve sürdürülebilir üretmekle mümkün olacaktır. Hassas tarım teknolojileri, yapay zeka, robotik ve biyoteknolojik yenilikler, EYY prensipleriyle birleştiğinde, tarımsal üretimin çevresel ayak izini azaltırken verimliliği korumanın anahtarı olacaktır. Başarı, artık ne kadar kimyasal kullanıldığıyla değil, ne kadar bilgi ve teknolojinin sürece entegre edildiğiyle ölçülecektir.

KAYNAKLAR

- Behmann, J., Mahlein, A. K., Rumpf, T., Römer, C., & Plümer, L. (2015). A review of advanced machine learning and deep learning concepts for fusion of multi-modal data in agriculture. *Precision Agriculture*, 16(6), 707-745. <https://doi.org/10.1007/s11119-014-9392-z>
- Duke, S. O. (2012). Why have no new herbicide modes of action appeared in recent years? *Pest Management Science*, 68(4), 505-512. <https://doi.org/10.1002/ps.2333>
- Fennimore, S. A., Slaughter, D. C., Siemens, M. C., Leon, R. G., & Saber, M. N. (2016). Technology for automation of weed control in specialty crops. *Weed Technology*, 30(4), 823-837. <https://doi.org/10.1614/WT-D-16-00070.1>
- Farooq, M., Jabran, K., Cheema, Z. A., Wahid, A., & Siddique, K. H. M. (2011). The role of allelopathy in agricultural pest management. *Pest Management Science*, 67(5), 493-506. <https://doi.org/10.1002/ps.2091>
- Gao, J., Nuytens, D., Lootens, P., He, Y., & Pieters, J. G. (2020). Recognising weeds in a maize crop using a random forest machine-learning algorithm and superpixel-based image processing. *Biosystems Engineering*, 195, 199-212. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.05.006>
- Heap, I. (2021). The International Herbicide-Resistant Weed Database. Retrieved from <http://www.weedscience.org>
- Heap, I. (2024). The International Herbicide-Resistant Weed Database. <https://www.weedscience.org>
- Oerke, E. C. (2006). Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, 144(1), 31-43. <https://doi.org/10.1017/S0021859605005708>
- Swanton, C. J., & Weise, S. F. (1991). Integrated weed management: The rationale and approach. *Weed Technology*, 5(3), 657-663.
- Tsouros, D. C., Bibi, S., & Sarigiannidis, P. G. (2019). A review on UAV-based applications for precision agriculture. *Information*, 10(11), 349. <https://doi.org/10.3390/info10110349>¹⁰
- Westwood, J. H., Char, S. N., Cook, D. R., & Nelson, D. C. (2018). The plant science research network. New tools for a new generation of plant

scientists. *Plant Physiology*, 176(3), 1852-1857.
<https://doi.org/10.1104/pp.17.01476>

Zimdahl, R. L., & Basinger, N. T. (2024). *Fundamentals of weed science*.
Elsevier.

BÖLÜM 4

SÜRDÜRÜLEBİLİR VE EKOLOJİK TEMELLİ YABANCI OT KONTROLÜ

Doç. Dr. Fırat PALA¹

Prof. Dr. Hüsrev MENNAN²

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.17969548>

¹ Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Siirt, Türkiye. (Sorumlu Yazar: firatpala@siirt.edu.tr, ORCID: 0000-0002-4394-8841)

² ²Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Samsun, Türkiye. (hmennan@omu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-1410-8114)

1. GİRİŞ

Tarım, artan küresel nüfusu besleme zorunluluğu ile sürekli bir evrim içindedir. Bu süreçte, verim ve kaliteyi doğrudan tehdit eden yabancı otlar, tarımsal üretimin en inatçı rakiplerinden biri olmuştur (Zimdahl ve Basinger, 2024). Yabancı otlar, kültür bitkileriyle su, ışık, besin maddeleri ve alan için rekabete girerek küresel ölçekte milyarlarca dolarlık ekonomik kayıplara yol açmaktadır (Radosevich ve ark., 2007).

Yirmibirinci yüzyılın ortalarında "Yeşil Devrim" ile başlayan kimyasal mücadele dönemi, sentetik herbisitlerin kullanımıyla tarımın çehresini değiştirmiştir. Ancak bu tek yönlü ve yoğun kimyasal kullanımı temel alan model, zamanla kendi sürdürülebilirlik krizlerini yaratmıştır. Bugün dünya genelinde 500'den fazla vakada yüzlerce yabancı ot türünün birçok herbisit grubuna karşı dayanıklılık kazanmasıyla "Herbisit Direnci" küresel bir tehdit haline gelmiştir (Powles & Yu, 2010; Heap, 2022). Buna ek olarak, herbisitlerin yeraltı sularına karışması, toprakta kalıntı bırakması ve hedef dışı organizmalara zarar vermesi gibi çevresel kaygılar, 2025 yılı itibarıyla tarımı bir dönüm noktasına getirmiştir. Bu durum, **"Sürdürülebilir Yabancı Ot Yönetimi" (SYYY)** paradigmasını tarımın merkezine yerleştirmiştir.

1.1. Sürdürülebilir Yabancı Ot Yönetimi (SYYY): Tanım ve Önem

Sürdürülebilir Yabancı Ot Yönetimi (SYYY), yabancı otları tamamen yok edilmesi gereken düşmanlar olarak görmek yerine, tarımsal ekosistemin bir parçası olarak kabul eden ve popülasyonlarını ekonomik zarar eşiğinin altında tutmayı hedefleyen bütüncül bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım, tek bir yönetime (özellikle sentetik herbisitlere) bağımlı kalmak yerine, ekolojik prensiplere dayalı çoklu kontrol taktiklerini (kültürel, mekanik, biyolojik, teknolojik) entegre ederek uzun vadeli, çevre dostu ve ekonomik olarak uygulanabilir çözümler üretmeyi amaçlar (Liebman & Gallandt, 1997).

SYYY'nin günümüz tarımı için önemi çok yönlüdür:

- **Herbisit Direnci Krizini Yönetmek:** Kimyasal mücadele etkinliğini yitirirken, SYYY çoklu ve farklı etki mekanizmalı yöntemler sunarak direnç gelişimini engeller veya geciktirir (Powles & Yu, 2010).
- **Çevresel ve Ekolojik Koruma:** SYYY, herbisitlerin hedef dışı organizmalara (arılar, solucanlar, faydalı mikroorganizmalar) zarar

vermesini en aza indirerek biyoçeşitliliği ve ekosistem sağlığını korur.

- **Ekonomik Dirençlilik:** Uzun vadede, sentetik kimyasallara olan bağımlılığı azaltarak çiftçilerin girdi maliyetlerini düşürür ve sürdürülebilir veya organik ürünler için oluşan pazar fırsatlarından yararlanmalarını sağlar.
- **Gıda Güvenliği ve Sağlığı:** Gıda ürünlerindeki kimyasal kalıntı riskini azaltarak tüketici sağlığını korur ve gıda güvenliğine katkıda bulunur.

2. SÜRDÜRÜLEBİLİR YÖNETİMİN TEMEL BİLEŞENLERİ: UYGULANABİLİR YÖNTEMLER VE MEVCUT UYGULAMALAR

SYYY, pahalı veya karmaşık olmak zorunda değildir. Her ölçekteki çiftçinin uygulayabileceği birçok erişilebilir yöntem mevcuttur. Bu yöntemler, **Entegre Yabancı Ot Yönetimi (EYY)** piramidi çerçevesinde birleştirildiğinde en yüksek başarıya ulaşır (Harker & O'Donovan, 2013). Bu sistem, temeli en sağlam olan bir piramit gibi düşünülebilir. En geniş tabanı önleyici ve kültürel önlemler oluştururken, kimyasal mücadele en üstte ve son çare olarak yer alır (Swanton & Weise, 1991).

Tablo 1: Entegre yabancı ot yönetimi çerçevesi

EYY Piramidi Katmanı	Tanım ve Amaç	Örnekler
Kimyasal Yöntemler	(En Üst - Son Çare) Diğer yöntemler yetersiz kaldığında, hedefe yönelik ve seçici herbisit kullanımı.	Noktasal ilaçlama, düşük doz uygulamaları, direnç yönetimi stratejileri.
Biyolojik Yöntemler	(Orta Seviye) Yabancı otları baskılamak için doğal düşmanların (patojenler, böcekler) veya allelopatinin kullanılması.	Biyoherbisitler, otçul böceklerin salımı, allelopatik örtücü bitkiler.
Fiziksel/Mekanik Yöntemler	(Orta Seviye) Yabancı otları fiziksel olarak yok etmek veya gelişimini engellemek.	Toprak işleme (çapalama, kültivatör), malçlama, alevle yakma (termal kontrol).

EYY Piramidi Katmanı	Tanım ve Amaç	Örnekler
Kültürel Yöntemler	(Temel Seviye) Kültür bitkisinin rekabet gücünü yabancı otlara karşı artırmak.	Ekim nöbeti, örtücü bitkiler, ekim zamanı ve sıklığının ayarlanması, gübreleme.
Önleyici Yöntemler	(Temel - En Geniş Katman) Yabancı ot tohumlarının ve vejetatif parçalarının tarlaya girişini ve yayılmasını engellemek.	Sertifikalı tohum kullanımı, tarım aletlerinin temizliği, tarla kenarı yönetimi.

Entegre Yabancı Ot Yönetimi (EYY), tek bir mücadele yöntemine (genellikle kimyasal) bağımlı kalmak yerine, mevcut tüm kontrol tekniklerinin (önleyici, kültürel, mekanik, biyolojik ve kimyasal) ekolojik ve ekonomik prensipler çerçevesinde uyumlu bir şekilde birleştirildiği, bilgiye dayalı bir karar verme sürecidir. EYY'nin temel amacı, yabancı ot popülasyonlarını yönetmek, toprak altındaki tohum bankasını zamanla azaltmak ve tarımsal ekosistemin direncini artırmaktır (Harker & O'Donovan, 2013).

Bu sistem, temeli en sağlam ve geniş olan bir piramit gibi düşünülebilir. Piramidin en alt ve en geniş katmanını, en sürdürülebilir ve öncelikli yöntemler olan **önleyici ve kültürel önlemler** oluşturur. Bir üst katmanda **fiziksel ve mekanik** yöntemler, ardından **biyolojik mücadele** yer alır. Piramidin en tepesinde ise en son çare olarak başvurulması gereken ve hedefe yönelik uygulanması gereken **kimyasal mücadele** bulunur (Swanton & Weise, 1991). Amaç, alttaki katmanları o kadar etkili kullanmaktır ki, en üst katmana olan ihtiyaç en aza insin.

2.1. Önleyici ve Kültürel Yöntemler

Mücadelenin en temel, en ucuz ve en etkili adımıdır.

Çiftçiler arasında sertifikalı ve temiz tohum kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Ekim nöbeti, özellikle organik ve koruyucu tarım yapan işletmelerin standart bir uygulaması haline gelmiştir. Örtücü bitki tohumlarına erişim kolaylaşmış ve birçok ülkede bu uygulamalar devlet tarafından teşvik edilmektedir.

Tablo 1: Önleyici ve kültürel yöntemler

Kültürel Yöntem	Açıklama	Ulaşılabilirlik ve Uygulanabilirlik
Ekim Nöbeti (Münavebe)	Farklı bitki ailelerinden ürünlerin art arda ekilmesiyle yabancı ot döngüsünü kırmak.	Yüksek. Planlama gerektirir ancak ek maliyeti düşüktür.
Örtücü Bitkiler	Toprağı kaplayarak yabancı otları fiziksel ve allelopatik olarak baskılamak.	Yüksek. Tohum maliyeti vardır ancak toprak sağlığına ek faydaları maliyeti karşılar (Hartwig & Ammon, 2002).
Yabancı Tohum Yatağı	Ekimden önce yabancı otları çimlendirip yok ederek tohum bankasını azaltmak.	Yüksek. Ekstra zaman ve mazot maliyeti gerektirir ancak kimyasal ihtiyacını azaltır.
Malçlama	Organik (saman) veya inorganik (plastik) materyallerle toprağı örtmek.	Orta. Organik malçlar erişilebilirdir, plastik malçlar ise maliyet ve atık yönetimi gerektirir.
Bitki Sıra Arası ve Sıklığı	Ekim sıklığını artırarak veya sıra arasını daraltarak bitkinin toprağı hızla gölgelemesini sağlamak.	Yüksek. Sadece ekim ayarlarının değiştirilmesini gerektirir.

Kültürel yöntemler; ekim nöbeti, örtücü bitkiler ve ekim ayarları gibi genellikle düşük maliyetli ve yüksek uygulanabilirliğe sahip stratejilerle, tarımsal çevreyi düzenleyerek yabancı otları ekolojik olarak baskı altına alır.

2.2. Fiziksel ve Mekanik Yöntemler

Doğrudan müdahaleyi içerir ve kimyasal kullanımına alternatiftir.

Tablo 2: Fiziksel/Mekanik mücadele yöntemleri

Yöntem	Tanım ve Açıklama	Avantajlar ve Dezavantajlar
Toprak İşleme	Geleneksel pullukla sürümünden, kültivatör, kazayağı veya tırmık gibi aletlerle yapılan sıra arası çapalamaya kadar çeşitli uygulamaları içerir. Yabancı otları kökünden söker, toprağa gömer veya parçalar.	Avantaj: Etkili, hızlı ve geniş alanlarda uygulanabilir. Dezavantaj: Yoğun toprak işleme erozyona, toprak sıkışmasına ve organik madde kaybına neden olabilir (Zimdahl ve Basinger, 2024).
Malçlama	Toprak yüzeyinin ışık geçirmeyen bir materyal ile örtülmesidir. Bu, fotosentezi ve yabancı ot tohumlarının çimlenmesini engeller. Organik (saman, ağaç kabuğu) veya inorganik (siyah plastik film) materyaller kullanılabilir.	Avantaj: Yabancı ot kontrolünün yanı sıra su tasarrufu sağlar ve toprak sıcaklığını düzenler. Dezavantaj: Plastik malçlar atık sorunu yaratabilir, organik malçların serilmesi işçilik gerektirir (Pala, 2025).
Termal Yöntemler (Alevle Yakma)	Propan gazıyla çalışan alev makinaları kullanılarak yabancı otlara kısa süreli yoğun	Avantaj: Toprak yapısını bozmaz, kimyasal kalıntı bırakmaz, organik tarımda yaygın olarak kullanılır. Dezavantaj: Enerji maliyeti yüksektir, sadece küçük

Yöntem	Tanım ve Açıklama	Avantajlar ve Dezavantajlar
	ısı uygulanmasıdır. Amaç bitkiyi yakmak değil, hücrelerindeki suyun aniden genleşerek hücre duvarlarını patlatmasını ve bitkinin solmasını sağlamaktır.	fideler üzerinde etkilidir (Pala & Mennan, 2025).
Buhar ve Sıcak Su	Bitki dokusunu tahrip etmek için yüksek sıcaklıkta buhar veya suyun kullanıldığı bir yöntemdir. Özellikle sert zeminlerde (kaldırım, yol kenarı) ve hassas alanlarda tercih edilir.	Avantaj: Yangın riski alevle yakmaya göre daha düşüktür. Dezavantaj: Yüksek su ve enerji tüketimi gerektirir, uygulaması yavaştır.

Geleneksel çapalama, küçük ve orta ölçekli işletmeler için hala temel yöntemdir. Modern kültivatörler, kamera sistemleriyle donatılarak sıra aralarını daha hassas işleyebilmektedir. Termal yöntemlerden alevle yakma (flame weeding), özellikle organik sebze ve bağcılıkta popüler bir niş uygulama haline gelmiştir. Son yıllarda, yüksek voltajlı elektrik akımıyla yabancı ot kontrolü yapan ticari ürünler de piyasaya sürülmüştür.

Bu yöntemler, yabancı otları doğrudan fiziksel güç veya enerji kullanarak, kimyasal kullanmadan yok etmeyi amaçlar. Binlerce yıldır tarımın temelini oluşturan bu yöntemler, modern tarımda da önemini korumaktadır.

2.3. Biyolojik Mücadele, Allelopati ve Ekolojik Yaklaşımlar

Doğanın kendi mekanizmalarını kullanır.

Klasik biyolojik mücadele, genellikle devlet araştırma enstitüleri tarafından yürütülen geniş çaplı projelerdir. Biyoherbisitler ticari olarak mevcuttur ancak etkinlikleri genellikle belirli yabancı otlar ve koşullarla sınırlıdır (Charudattan, 2001). Allelopatik özelliklere sahip örtücü bitkilerin (örneğin kışlık çavdar) kullanımı, en yaygın ve erişilebilir biyolojik temelli uygulamadır (Weston & Duke, 2003).

- **Yabancı Ot Baskılayıcı Topraklar (Weed-Suppressive Soils):** Bazı toprakların, içerdikleri spesifik mikroorganizma toplulukları sayesinde, belirli yabancı ot tohumlarının çimlenmesini doğal olarak engellediği bilinmektedir. Kompost ve organik madde eklenmesi gibi toprak sağlığını iyileştiren uygulamalar, bu faydalı mikroorganizmaları teşvik edebilir (van der Putten et al., 2013).
- **Tarla Hayvanlarının Entegre Kullanımı (Conservation Grazing):** Özellikle çok yıllık sistemlerde (bağ, meyve bahçesi) veya hasat sonrası arazide, koyun veya kaz gibi hayvanların kontrollü bir şekilde otlatılması, etkili ve düşük maliyetli bir yabancı ot yönetimi sağlayabilir.

Tablo 2: Biyolojik mücadele ve allelopati

Yöntem	Tanım ve Açıklama	Örnekler
Klasik Biyolojik Mücadele	Genellikle istilacı bir yabancı otun kontrolü için anavatanından getirilen ve sadece o yabancı ot ile beslenen spesifik bir doğal düşmanın (genellikle bir böcek) yeni ortama salınmasıdır. Amaç, doğal düşmanın popülasyon kurarak	Avustralya'da istilacı olan dikenli incir (<i>Opuntia</i> spp.) kaktüsünün kontrolü için Arjantin'den getirilen <i>Cactoblastis cactorum</i> adlı güve, klasik biyolojik mücadelenin en başarılı örneklerinden biridir (McFadyen, 1998).

Yöntem	Tanım ve Açıklama	Örnekler
	sürekli bir baskı oluşturmaktadır.	
Biyoherbisitler (Artırıcı Biyolojik Mücadele)	Yabancı otlarda hastalık yapan patojenik mikroorganizmaların (genellikle fungus sporları) laboratuvarında çoğaltılarak, formüle edilip bir herbisit gibi tarlaya püskürtülmesidir. Klasik mücadelenin aksine, sürekli bir etki beklenmez, herbisit gibi uygulanır.	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> f. sp. <i>aeschynomene</i> fungusund an geliştirilen 'Collego' adlı biyoherbisit, pirinç ve soya fasulyesi tarlalarındaki belirli bir yabancı ota karşı ticari olarak kullanılmıştır (Charudattan, 2001).
Allelopati	Tanım: Bir bitkinin ürettiği ve ortama saldığı kimyasal bileşiklerin (allelkimyasallar), komşu bitkilerin çimlenmesini, büyümesini veya gelişimini engellemesi ya da teşvik etmesidir. Bu özellik, doğal bir yabancı ot baskılama mekanizması olarak kullanılabilir.	Kışlık çavdar (<i>Secale cereale</i>), köklerinden salgıladığı kimyasallarla birçok tek yıllık yabancı otun çimlenmesini engeller. Benzer şekilde, Kanyaş (<i>Sorghum halepense</i>) da güçlü allelopatik etkiye sahip bir bitkidir (Weston & Duke, 2003).

Biyolojik mücadele, doğanın kendi mekanizmalarını kullanarak yabancı ot popülasyonlarını baskılamayı hedefler. Bu yöntemde yabancı otların doğal düşmanları olan böcekler, patojenler (hastalık etmenleri) veya otçul hayvanlar kullanılır.

2.4. Teknolojik Yenilikler ve Hassas Tarım

Teknoloji, SYYY'yı daha verimli ve hassas hale getirmektedir.

"Gör ve Püskürt" (See & Spray) teknolojisi, büyük firmalar tarafından ticarileştirilmiş ve büyük ölçekli çiftliklerde herbisit kullanımını %90'a varan oranlarda azaltarak popülerlik kazanmıştır. Otonom ot kontrol robotları (lazerli veya mekanik), yüksek değerli ürünlerin yetiştirildiği işletmelerde kullanılmaya başlanmıştır (Fennimore ve ark., 2016). Drone'lar, yabancı ot tespiti ve haritalanması için daha erişilebilir hale gelmiştir.

Tablo 2: Teknolojik yenilikler ve hassas tarım

Teknoloji	Tanım ve Açıklama	Sağladığı Temel Fayda
Görüntü İşleme ve Yapay Zeka (AI)	Tarım aletlerine veya drone'lara monte edilen yüksek çözünürlüklü kameralar ve bu görüntüleri işleyen derin öğrenme algoritmaları sayesinde, tarladaki bitkiler anlık olarak analiz edilir. Yapay zeka, kültür bitkisini yabancı ottan, hatta farklı yabancı ot türlerini birbirinden ayırt edebilir. Bu, "yeşil üzeri yeşil" (green-on-green) tespiti olarak bilinir (Slaughter ve ark., 2008).	Yabancı otların yerini ve yoğunluğunu santimetre hassasiyetinde tespit etme imkanı sunar.
Robotik Sistemler (Otonom Ot Kontrolü)	Yapay zeka ile tespit edilen yabancı otlara otonom olarak müdahale eden kara robotlarıdır. Bu robotlar, yabancı otu mekanik	Kimyasal kullanımını ortadan kaldırabilir (lazer/mechanik) veya minimuma indirebilir. Toprak sıkışmasını

Teknoloji	Tanım ve Açıklama	Sağladığı Temel Fayda
	kollarla sökebilir (mekanik ayıklama), yüksek enerjili lazer ışınlı büyüme noktasını yakabilir (lazerle kontrol) veya üzerine mikro dozda herbisit püskürtebilir (mikro-püskürtme).	azaltır ve 24/7 çalışma imkanı sunar (Fennimore ve ark., 2016).
Gör ve Püskürt (See & Spray) Teknolojisi	Traktörlerin ilaçlama bomlarına entegre edilen, kameralar ve sensörlerle donatılmış akıllı bir sistemdir. Sistem, traktör ilerlerken tarlayı tarar ve sadece bir yabancı ot tespit ettiğinde ilgili püskürtme memesini (nozulu) milisaniyeler içinde açıp kapatarak sadece otun üzerine ilaç püskürtür.	Geleneksel tarla geneli ilaçlamaya kıyasla herbisit kullanımını %70 ila %90 oranında azaltarak maliyetleri ve çevresel etkiyi önemli ölçüde düşürür (Pala, 2025).
Drone Teknolojileri	Yüksek çözünürlüklü veya multispektral kameralarla donatılmış insansız hava araçları (İHA), yabancı otların yoğun olduğu bölgeleri haritalamak için kullanılır. Bu haritalar, değişken oranlı herbisit uygulamaları için traktörlere yüklenebilir veya drone'lar doğrudan noktasal ilaçlama yapmak için kullanılabilir.	Geniş alanların hızlı bir şekilde taranması ve yabancı ot istilası olan bölgelerin erken tespiti.

Tarım 4.0 devrimi, yabancı ot yönetiminde de paradigma değişimine yol açmıştır. Hassas tarım teknolojileri, "tüm tarlayı ilaçlama" anlayışından, sadece

yabancı otun olduğu noktaya müdahale eden "hedefe yönelik ve akıllı uygulama" anlayışına geçişi sağlamaktadır.

3. SWOT ANALİZİ: SÜRDÜRÜLEBİLİR YABANCI OT YÖNETİMİ

SYYY'nin mevcut durumunu ve potansiyelini anlamak için bir SWOT analizi faydalıdır.

Tablo 3: Sürdürülebilir yabancı ot yönetiminin SWOT analizi

Güçlü Yönler (Strengths)	Zayıf Yönler (Weaknesses)
1. Çevre Dostu: Düşük kimyasal kullanımı, ekosistem sağlığını korur.	1. Bilgi Yoğun: Başarı, yüksek düzeyde ekolojik bilgi ve planlama gerektirir.
2. Uzun Vadeli Etki: Toprak tohum bankasını azaltır ve kalıcı çözümler sunar.	2. Yavaş Etki: Sonuçlar, sentetik herbisitler kadar hızlı ve kesin olmayabilir.
3. Direnç Yönetimi: Herbisit direnci riskini ortadan kaldırır veya geciktirir.	3. Yüksek İşgücü/Maliyet: Bazı yöntemler başlangıçta daha fazla işgücü veya yatırım gerektirebilir.
4. Pazar Değeri: Sürdürülebilir/organik ürünlere olan talep nedeniyle katma değer yaratır.	4. Değişken Başarı: Etkinlik; iklim, toprak tipi ve yabancı ot türüne göre değişebilir.
Fırsatlar (Opportunities)	Tehditler (Threats)
1. Teknolojik Gelişmeler: AI, robotik ve sensör teknolojileri SYYY'yi daha verimli hale getiriyor.	1. İklim Değişikliği: Yeni ve daha agresif yabancı ot türlerinin yayılmasına neden olabilir.
2. Tüketici Bilinci: Sağlıklı ve çevre dostu gıdaya yönelik artan talep.	2. Ekonomik Baskılar: Kısa vadeli maksimum verim beklentisi, çiftçileri kimyasal kullanmaya itebilir.
3. Politik Destek ve Teşvikler: Sürdürülebilir tarım uygulamalarına yönelik artan devlet sübvansiyonları.	3. Bilgi Eksikliği: Çiftçiler arasında SYYY yöntemleri konusunda yetersiz eğitim ve danışmanlık hizmetleri.

Güçlü Yönler (Strengths)	Zayıf Yönler (Weaknesses)
4. Yeni Biyo-ürünler: Biyoherbisit ve allelopatik bileşikler alanında devam eden Ar-Ge çalışmaları.	4. Konvansiyonel Sistemin Atâleti: Yerleşik tarım kimyasalları endüstrisi ve alışkanlıkların değişime direnci.

Güçlü Yönler: Sürdürülebilir yabancı ot yönetiminin güçlü yönleri; çevre dostu olması, herbisit direncini yönetmesi, uzun vadeli çözümler sunması ve organik ürünler sayesinde pazar değeri yaratmasıdır.

Zayıf Yönler: Buna karşılık zayıf yönleri ise; başarılı olmak için yüksek düzeyde ekolojik bilgi gerektirmesi, sonuçlarının yavaş ve koşullara bağlı olarak değişken olması ve başlangıçta daha yüksek işgücü veya maliyet talep edebilmesidir.

Fırsatlar: Yönetim modelinin önündeki fırsatlar; yapay zeka ve robotik gibi teknolojik gelişmeler, artan tüketici bilinci, politik destekler ve yeni biyo-ürünlerin geliştirilmesiyle giderek büyümektedir.

Tehditler: Temel tehditler ise; iklim değişikliğinin yeni yabancı ot sorunları yaratma potansiyeli, kısa vadeli ekonomik baskılar, çiftçilerdeki bilgi eksikliği ve yerleşik konvansiyonel sistemin değişime karşı direncidir.

4. GELECEK PERSPEKTİFLERİ VE STRATEJİK ÖNERİLER

2025 ve sonrası için SYYY'nin geleceği, "entegrasyon" ve "zeka" kelimeleriyle şekillenecektir.

- Ekolojik Zeka Entegrasyonu:** Geleceğin sistemleri, sadece yabancı otu tanımakla kalmayacak, aynı zamanda toprağın nemi, besin durumu, mikrobiyal aktivite gibi ekolojik verileri de analiz ederek en uygun müdahale yöntemini ve zamanını belirleyecektir. AI, ekolojik prensiplerle birleşerek karar destek sistemleri oluşturacaktır.
- Robotik Sürü Zekası:** Tek bir büyük robot yerine, birbiriyle iletişim halinde çalışan daha küçük, hafif ve otonom robot sürüleri, tarlalarda 7/24 esasına göre mekanik veya lazerle ot kontrolü yapacaktır. Bu, toprak sıkışmasını önleyecek ve verimliliği artıracaktır (Fennimore ve ark., 2016).

- **Biyoteknoloji ve Gen Düzenleme:** CRISPR gibi teknolojiler, kültür bitkilerinin allelopatik özelliklerini veya rekabet güçlerini artırmak için kullanılabilir. Aynı zamanda, daha etkili ve geniş spektrumlu biyoherbisitlerin geliştirilmesinde de rol oynayacaktır.
- **Politika ve Eğitim:** SYYY'nin yaygınlaşması için çiftçi eğitim programlarının artırılması, danışmanlık hizmetlerinin güçlendirilmesi ve ekolojik uygulamaları ödüllendiren politika mekanizmalarının oluşturulması kritik olacaktır.

5. SONUÇ

Sürdürülebilir Yabancı Ot Yönetimi, 2025 yılı itibarıyla bir seçenek değil, tarımın geleceği için bir zorunluluktur. Herbisitlere dayalı tek boyutlu modelin ekolojik ve ekonomik sınırlarına ulaşılmıştır. Bu derlemede incelenen uygulanabilir yöntemler, SYYY'nin her ölçekteki çiftçi için erişilebilir olduğunu göstermektedir. SWOT analizi, bu yaklaşımın güçlü yönlerinin ve fırsatlarının, zayıf yönlerini ve tehditlerini aşma potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Gelecek, önleyici ve kültürel yöntemlerin oluşturduğu sağlam temel üzerinde, hassas tarım teknolojileri ve biyolojik mücadelenin akılcı bir entegrasyonuna dayanacaktır. Başarı, doğayla savaşmak yerine onun dinamiklerini anlayıp teknolojiyle yönetmekten geçecektir. Bu dönüşüm, tarımı sadece verimli değil, aynı zamanda dirençli, kârlı ve çevre dostu bir faaliyet haline getirecektir.

6. KAYNAKLAR

- Charudattan, R. (2001). Biological control of weeds by means of plant pathogens: significance for integrated weed management in developing countries. *Food and Fertilizer Technology Center (FFTC) Publication*.
- Fennimore, S. A., Slaughter, D. C., Siemens, M. C., Leon, R. G., & Saber, M. N. (2016). Technology for automation of weed control in specialty crops. *Weed Technology*, 30(4), 823-837.
- Harker, K. N., & O'Donovan, J. T. (2013). Recent approaches to integrated weed management. *Weed Science*, 61(1), 4-13.
- Hartwig, N. L., & Ammon, H. U. (2002). Cover crops and living mulches. *Weed Science*, 50(6), 688-699.
- Heap, I. (2022). *The International Herbicide-Resistant Weed Database*. Retrieved from <http://www.weedscience.org>
- Liebman, M., & Gallandt, E. R. (1997). Many little hammers: ecological management of crop-weed interactions. In *Ecology in agriculture* (pp. 291-343). Academic Press.
- McFadyen, R. E. C. (1998). Biological control of weeds. *Annual Review of Entomology*, 43(1), 369-393.
- Pala, F. (2025). *Herboloji (Yabancı Ot Mücadelesi)*. Akademisyen Yayınevi. Ankara.
- Powles, S. B., & Yu, Q. (2010). Evolution in action: plants resistant to herbicides. *Annual Review of Plant Biology*, 61, 317-347.
- Radosevich, S. R., Holt, J. S., & Ghersa, C. (2007). *Ecology of weeds and invasive plants: relationship to agriculture and natural resource management* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Slaughter, D. C., Giles, D. K., & Downey, D. (2008). Autonomous robotic weed control systems: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 61(1), 63-78.
- Swanton, C. J., & Weise, S. F. (1991). Integrated weed management: the rationale and approach. *Weed Technology*, 5(3), 657-663.
- Teasdale, J. R. (1996). Contribution of cover crops to weed management in sustainable agricultural systems. *Journal of Production Agriculture*, 9(4), 475-479.

- Templeton, G. E. (1982). Biological herbicides: Discovery, development, deployment. *Weed Science*, 30(4), 430-433.
- van der Putten, W. H., Bardgett, R. D., Bever, J. D., Bezemer, T. M., Casper, B. B., Fukami, T., ... & Klironomos, J. N. (2013). Plant-soil feedbacks: The past, the present and future challenges. *Journal of Ecology*, 101(2), 265-276.
- Weston, L. A., & Duke, S. O. (2003). Weed and crop allelopathy. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 22(3-4), 367-389.
- Zimdahl, R. L., & Basinger, N. T. (2024). Fundamentals of weed science. Elsevier.

BÖLÜM 5

BAĞCILIKTA MİKORİZAL MANTARLARIN KULLANIMI: ASMA BESLENMESİ, STRES TOLERANSI VE SÜRDÜRÜLEBİLİR ÜRETİM ÜZERİNE ETKİLERİ

Arş. Gör. Necla ŞAŞKIN¹
Prof. Dr. Gültekin ÖZDEMİR ²

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.17969579>

¹ Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Diyarbakır, Türkiye.
necla.saskin@dicle.edu.tr, orcid id: 0000-0003-3828-0522

² Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Diyarbakır, Türkiye.
gozdemir@dicle.edu.tr , orcid id: 0000-0002-4450-0811

1. GİRİŞ

Asma, kökeni milyonlarca yıl öncesine dayanan ve yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan meyve türlerinden biridir. Kültüre alınan asma (*Vitis vinifera* L.) yaklaşık 70 türle birlikte *Vitis* cinsine aittir. Arkeolojik bulgular, asmanın kültüre alınmasının yaklaşık 6000–8000 yıl önce Karadeniz ile İran arasında yer alan Transkafkasya bölgesinde, *Vitis vinifera* subsp. *sylvestris* popülasyonlarından başladığını göstermektedir (Sağlam ve Çalkan Sağlam, 2018; Wen ve ark., 2018; Grassi ve Arroyo-Garcia, 2020).

Ülkemiz, dünya üzüm üretiminde önemli konuma sahiptir. Bağcılığa elverişli iklim koşulları, bağ alanları ve üretim miktarı ile ülkemiz, bu alanda önde gelen ülkeler arasında yer almaktadır. Üzüm üretimi, aynı zamanda ülke ekonomisine önemli katkılar sağlamaktadır (Çelik, 1998; Ateş ve Uysal, 2017). Türkiye, bağ alanı büyüklüğü açısından İspanya, Fransa, Çin ve İtalya'nın ardından 5. sırada, üzüm üretim miktarı bakımından ise Çin, İtalya, Fransa, Amerika Birleşik Devletleri, İspanya ve Hindistan'ın ardından 7. sırada yer almaktadır (FAO, 2023). Türkiye'de bağ alanı büyüklüğü bakımından ilk sıralarda sırasıyla Manisa (877.598 da), Mardin (357692 da), Denizli (293.883 da), Nevşehir (185.253 da) ve Mersin (163.921 da) illeri yer almaktadır. Üzüm üretim miktarına göre ise en yüksek üretime sahip iller Manisa (1.139.027 ton), Mersin (319.512 ton), Denizli (295.603 ton), Mardin (161.904 ton) ve Gaziantep (163.889 ton) olarak belirlenmiştir (TÜİK, 2024). Ülkemizde üretilen üzüm sofralık, kurutmalık ve şaraplık olarak değerlendirilmektedir. 2024 yılında toplamda 3.468.000 ton üzüm üretimi yapılmıştır. Bu üretimin 1.825.915 tonu sofralık, 1.261.347 tonu kurutmalık ve 380.738 tonu ise şaraplık üzüm üretimi olarak rapor edilmiştir (TÜİK, 2024).

Günümüzde küresel iklim değişikliğinin etkileri, bağcılıkta kuraklık, tuzluluk ve aşırı sıcaklık gibi abiyotik stres faktörlerinin olumsuz etkilerini daha belirgin hâle getirmektedir. Bu abiyotik stres koşulları, asmanın büyüme, gelişme ve verimliliğini doğrudan etkileyerek hem ürün kalitesinde hem de sürdürülebilir üretim kapasitesinde ciddi kayıpların meydana gelmesine neden olmaktadır. Bu bağlamda, bitkinin büyüme-gelişme ve stres toleransını artırmaya yönelik biyolojik yaklaşımlar önem arz etmektedir. Son yıllarda arbüsküler mikorizal mantarlar, asma kökleriyle simbiyotik bir ilişki kurmakta ve toprak ile asma arasında doğrudan bir bağ oluşturmaları nedeniyle ön plana çıkmaktadır. Simbiyotik ilişkide mikoriza bitkiden karbonlu bileşikleri; bitki de

mikorizanın topraktan aldığı besin maddeleri ve suyu bünyesine almaktadır. Asmanın su ve mineral alımını iyileştirme, kök gelişimini destekleme, iyon homeostazını düzenleme ve bitkinin savunma sistemlerini güçlendirme yoluyla kuraklık ve tuzluluk gibi streslere karşı direnç kazandırmada önemli bir role sahip olduğu ortaya konmuştur. Bu bulgular, mikorizal mantarların iklim değişikliğinin oluşturduğu baskıları hafifletmeye yönelik sürdürülebilir bağcılık uygulamalarında giderek daha stratejik bir bileşen haline geldiğini göstermektedir (Trouvelot ve ark., 2015; Korkutal ve Bahar, 2024; Velaz ve ark., 2025)

Bu bölümde, bağcılıkta mikorizal mantarların özelliklerini inceleyerek, bu mantar uygulamalarının asmanın besin alımına, biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı toleransına ve sürdürülebilir üretim süreçlerine olan etkilerini ve potansiyel katkılarını değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

MİKORİZAL MANTARLAR

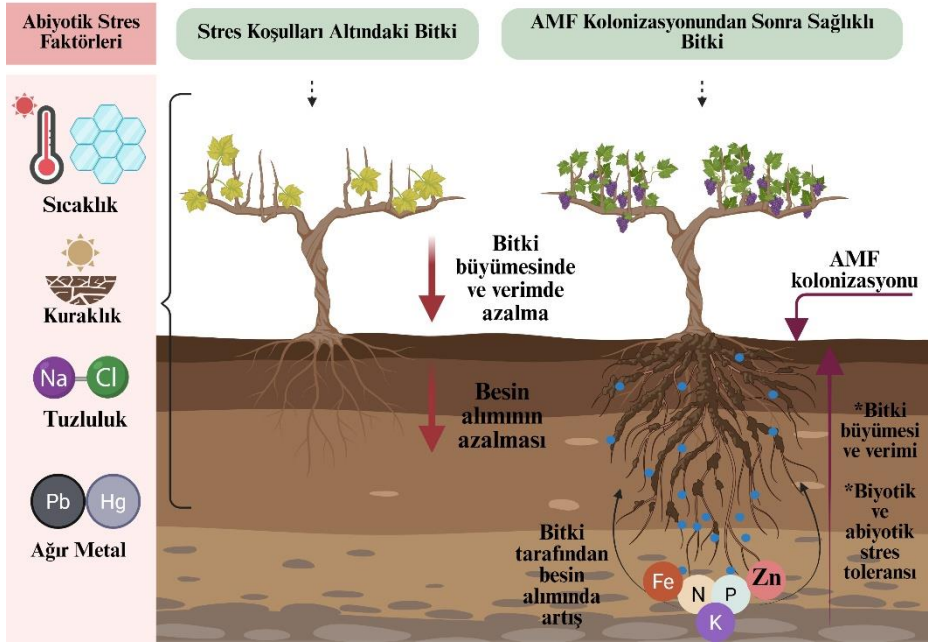
Bitki kökleri ile mantarlar arasında farklı formlarda gerçekleşen simbiyotik ilişkiler genel olarak “mikoriza” olarak tanımlanmaktadır. Mikoriza, Yunanca’ da fungus anlamına gelen mycos ve kök anlamına gelen rhiza kelimelerinden oluşmaktadır (Parniske, 2008; Palta ve ark., 2010). Mikorizalar yapı ve işlevlerine göre arbüsküler mikoriza (AM), ektomikoriza (EM), orkide mikorizası ve erikoid mikoriza olmak üzere dört ana gruba ayrılmaktadır (van Der Heijden ve ark., 2015). Arbüsküler mikoriza mantarları, tarım açısından en önemli grupta yer alan ve doğada yaygın olarak geniş bir dağılım gösteren mikroorganizmalardır. Kara bitkilerinin %70–90’ı ile simbiyotik ilişki kuran arbüsküler mikorizalar, monofiletik bir filum olan *Glomeromycota*’ya ait mantarlarla oluşmaktadır. Bu simbiyotik etkileşim, bitki kök hücrelerinin içinde ağaç benzeri hücre içi yapıların gelişmesiyle sonuçlanmaktadır. Latince ‘arbusculum’ küçük ağaç veya çalı anlamına gelen arbüsküller, bitki ile mantarın simbiyotik ilişkisinde besinlerin karşılıklı aktarımının gerçekleştiği temel yapılar olarak kabul edilmektedir. (Schüßler ve ark., 2001; Rillig, 2004; Gosling ve ark., 2006; Chandrasekaran ve Mahalingam, 2014; Jian ve ark., 2025). Arbüsküler mikorizalar, bitkileri mantarların hif ağlarına sıkı bir şekilde bağlamakta; bu hifler santimetreküp toprak başına 100 metreden fazla olabilmektedir. Bu hif ağları özellikle fosfat olmak üzere besin maddelerinin ve suyun alınmasını sağlayacak biçimde

yüksek düzeyde uzmanlaşmıştır. Bitkilere su ve besin maddeleri sağlayan arbusküler mikoriza mantarları, bu simbiyotik etkileşime karşılık olarak bitkilerden karbonhidrat almaktadır. Karasal bitkilerin fotosentez ürünlerinin %20'sine kadarının arbusküler mikorizal mantarlar tarafından kullanıldığı öngörülmektedir. Dolayısıyla arbusküler mikoriza simbiyozu, küresel fosfor ve karbon döngülerinde önemli katkı sağlamakta ve karasal ekosistemlerde birincil üretkenliği etkilemektedir (Schüßler ve ark., 2001; Parniske, 2008). Birçok bitki türü arbusküler mikoriza ile etkin bir simbiyoz oluşturamadıklarından, bu bitki türlerine konukçu olmayan ya da mikorizal olmayan bitkiler olarak sınıflandırılmaktadır. Tüm vasküler bitkilerin yaklaşık %18'ini oluşturan bu grup, ağırlıklı olarak *Amaranthaceae*, *Brassicaceae*, *Caryophyllaceae*, *Chenopodiaceae*, *Cyperaceae*, *Polygonaceae* ve *Proteaceae* familyalarına aittir (Brundrett ve Abbott, 2002; Lambers ve Teste, 2013; Pagliarani ve ark., 2025).

ASMALARDA BESİN ALIMI ÜZERİNE ETKİLERİ

Mikorizal mantarlar, hif ağlarını rizosfer bölgesinin dışına kadar yayarak bitkilerin besin maddelerini daha etkin şekilde almasına katkı sağlayan yapılardır (Ortaş ve Rafique, 2017). Mikorizal mantarlar, kök gelişimini ve kökün su-besin alma etkinliğini artırarak asmanın topraktan daha fazla su ve mineral almasını sağlamaktadır. Bu sayede bitkinin su stresi yaşamasını engellemekte ve hem vejetatif büyüme hem de meyve kalitesinin olumsuz etkilenmesini önlemektedir (Valentine ve ark., 2006; Öztürk ve ark., 2022). Arbusküler mikorizal mantarların miselyum ağı bitki köklerinin altına yayılış göstererek bitki tarafından alınamayan besin maddelerinin emilimini kolaylaştırmaktadır. Bu mekanizma, besin yönünden yetersiz toprak koşullarında bitki büyüme ve gelişimini desteklemekte ve böylece kimyasal gübre ihtiyacını azaltmaktadır (Umer ve ark., 2025; Ahmed ve ark., 2025). Arbusküler mikorizal mantarların hif ağları, fosfor (P), azot (N), potasyum (K) ve kükürt (S) gibi temel makro besin maddelerinin konsantrasyonunu artırmaktadır ve bu durumda fotosentez üretimi ve biyokütle birikiminde artış sağlamaktadır. Köklerin arbusküler mikorizal mantar kolonizasyonu, sınırlı fosfor koşulları altında bile bitkinin hem köklerinde hem de sürgünlerinde fosfor miktarını artırmaktadır. Bunlar, makro besin elementlerinin alımını artırmanın yanı sıra çinko (Zn) ve bakır (Cu) gibi mikro besinlerin bitki

tarafından alınabilirliğini de önemli ölçüde artırmaktadır (Bucher, 2007; Smith ve Read, 2008; Al-Hmoud ve Al-Momany, 2017; Chen ve ark., 2017; Prasad ve ark., 2017; Mitra ve ark., 2019; Moukarzel ve ark., 2023). Bağcılık alanında yapılan çalışmalar, mikorizal mantar uygulamalarının asmalarda besin alımını belirgin düzeyde artırdığını ortaya koymaktadır. Özdemir ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada kullanılan *Glomus mosseae* ve *Glomus intraradices* türlerine ait arbüsküler mikoriza aşılmasının, 5BB, 1613C, 41B Amerikan asma anaçları ile *Vitis vinifera* L. cv. 'Early Cardinal' üzerinde sürgün ve kök gelişimini artırdığı görülmüştür. Ayrıca her iki mikoriza türünün yapraklardaki P ve Zn önemli ölçüde artırdığı bildirilmiştir. Benzer bir çalışmada, fosfor içerikleri bakımından farklı topraklarda arbüsküler mikoriza aşılmasının *Vitis vinifera* L. cv. 'Pinot noir' üzerindeki etkileri incelenmiş; düşük fosfor içeriğine sahip topraklarda asmanın besin elementi alımını sürdürebilmesi için arbüsküler mikorizalara büyük ölçüde bağımlı olduğu, fosfor açısından daha verimli topraklarda ise bağımlılığın azalmasına rağmen, büyüme hızının belirlediği fosfor talebi doğrultusunda arbüsküler mikoriza aşılmasının P alımını artırmada yine de yarar sağlayabileceği saptanmıştır (Schreiner, 2007). Bir diğer çalışmada Crimson seedless üzüm çeşidinde arbüsküler mikorizal mantarların uygulaması ile fotosentez performansında iyileşmenin meydana geldiği, su kullanım verimliliğinin arttığı ve bitkinin fosfor, potasyum ve kalsiyum alımının desteklediği bildirilmiştir (Nicolás ve ark., 2015). Benzer bir çalışmada 'Pikani', 'Shahrudi' ve 'Keshmeshi' üç yerel İran üzüm çeşidine uygulanan *Glomus mosseae*' nin üzüm çeşitlerinin büyüme özelliklerinde önemli artış sağladığı, arbüsküler mikorizal mantar uygulamasının tüm çeşitlerde potasyumu, 'Shahrudi' ve 'Keshmeshi' çeşitlerinde ise fosforu önemli ölçüde artırdığı rapor edilmiştir (Kamayestani ve ark., 2019).



Şekil 1. Arbusküler mikoriza mantarlarının besin alımı ve stres toleransı üzerindeki etkisi

ABİYOTİK VE BİYOTİK STRES TOLERANSINA ETKİLERİ

Bitkiler, büyüme süreçlerinde ve metabolik işleyişlerini olumsuz yönde etkileyen çeşitli çevresel stres etmenlerine maruz kalmakta ve bu durum bitkinin büyüme performansında düşüşlere yol açmaktadır (Hashem ve ark., 2018). Antropojenik faaliyetler ve iklim değişikliğinin sonucunda, bitkiler sıcaklık dalgalanmaları, kuraklık, tuzluluk, yüksek ışık şiddeti, ağır metal vb. abiyotik streslerin yanı sıra, kök ve sürgün patojenlerinin saldırıları, yabancı otlar ve diğer bitkilerle rekabet gibi biyotik streslere de maruz kalmaktadır (Rennenberg ve Simon, 2013; Du ve ark., 2024). Bitkilerin karşılaştığı farklı biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı tolerans geliştirmesinde arbusküler mikorizal mantarlar, önemli düzenleyici ve koruyucu roller üstlenmektedir. Bu mantarlar, çoğu ortamlarda yaşamını sürdürebilmekte; rizosfer özelliklerini kimyasal ve fiziksel açıdan geliştirerek ekosistem işleyişini güçlendirmekte ve bitkilerin büyüme performansını artıran ekolojik faydalar sağlamaktadır. Arbusküler mikorizal mantarlar, bitki kökleri ile kurdukları simbiyotik ilişki

sayesinde biyotik ve abiyotik stres koşullarına karşı tolerans geliştirmesinde kullanılan stratejilerden birini oluşturmaktadır (Romero-Munar ve ark., 2017; Frosi ve ark., 2018 Mathur ve ark., 2019; Liang ve ark., 2021; Boorboori ve Lackóová, 2025). AMF, bitkilerde besin ve su alımını, kök gelişimini, ozmolit birikimini ve stresle ilişkili gen ekspresyonunu artırarak; bitkilerin tuzluluk, kuraklık, sıcaklık ve ağır metal gibi abiyotik stres faktörlerine karşı tolerans geliştirmesine önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. AMF, spermidin, spermin ve putresin gibi poliaminlerin biyosentezini ve düzenlenmesini kontrol ederek bitkilerin stres toleransının artmasına katkıda bulunmaktadır. Aynı zamanda aquaporinlerin aktivitesi ve ekspresyonu, AMF tarafından hücre zarlarından su geçişinin kontrolü yoluyla düzenlenmekte; bu sayede suyun alımı ve taşınması iyileştirilerek kuraklık ve tuzluluk stresleri sırasında bitkinin su kaybı azaltılmaktadır (Wang ve ark., 2018; Kapilan ve ark., 2018; Samanta ve ark., 2025). Bağcılıkta mikorizal mantar uygulamalarının bitkilerin stres koşullarına karşı toleransını artırdığını ortaya koyan çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Cardinale ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışmada 1103 Paulsen anacının Haziran ayında gerçekleştirilmiş dikimi sonrasında ortaya çıkan yaz stresi koşulları altında, mikorizal mantar uygulamanın asmanın vejetatif gelişimi, toprak ve yaprak besin elementi bileşimi ile toprak, rizosfer ve endorhiza mikrobiyotası üzerindeki etkileri kapsamlı biçimde değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, mikoriza aşılmasının şiddetli kuraklık stresine maruz bırakılan 1103 Paulsen anacının hayatta kalma oranı ve vejetatif gelişimi üzerinde belirgin düzeyde olumlu etkiler sağladığı, kök endosferindeki bakteriyel mikrobiyotayı önemli ölçüde etkilediği ve toplam besin elementi alımını düzenlediği bildirilmiştir. Benzer bir çalışma 2 yıllık Merlot asmalarında yürütülmüştür. Çalışmada, asmalara tam ve yarı sulama olmak üzere iki farklı sulama düzeyi uygulanmış; ayrıca bitkiler mikorizal mantarlar tarafından aşılanmış ve aşılanmamış olarak iki gruba ayrılarak değerlendirilmiştir. Asmaların ilk verim yıllarında arbüsküler mikorizal mantar aşılması ile sulama miktarlarının genç asmaların gelişimi ve fizyolojik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda AMF aşılmasının yarı sulama koşullarında vejetatif büyümeyi, su durumunu ve fotosentetik aktiviteyi iyileştirdiği rapor edilmiştir (Torres ve ark., 2021). Bir diğer çalışmada arbüsküler mikorizal mantarların *Vitis vinifera* L. cv. Ecolly' nin yaprak su içeriği, klorofil konsantrasyonu, fotosentez aktivitesi ve kuraklık

stresi altındaki klorofil floresansı üzerindeki incelenmiştir. Çalışma sonucunda mikoriza aşılması yapılmış asma fidanları aşılammamış asma fidanlarına göre daha güçlü olduğu bildirilmiştir. Sürgün, kök ve kazık köklerin kuru biyokütlesi kuraklık stresinden bağımsız olarak mikoriza aşılammış bitkilerde daha yüksek olduğu rapor edilmiştir. AMF simbiyozunun kuraklık stresi koşullarında yaprak su içeriği, klorofil konsantrasyonu, fotosentez hızı, stoma iletkenliği ve terleme hızı parametrelerini artırdığı ve hücreler arası CO₂ konsantrasyonunu azalttığı bildirilmiştir (Ye ve ark., 2022). Krishna ve ark. (2005) tarafından yapılan çalışmada *Vitis vinifera* L. cv. 'Pusa Navrang'ın *in vitro* koşullarda çoğaltılmış bitkiciklerinin *ex vitro* koşullara transferinde kontrol, *Acaulospora laevis*, *A. Scrobiculata*, *Entrophospora colombiana*, *Gigaspora gigantea*, *Glomus manihotis*, *Scutellospora heterogama* ve *G. manihotis*, *Glomus mosseae* ve *G. gigantea*'dan oluşan karışık bir AMF suşu olmak üzere 8 farklı mikoriza aşılmasının bitkiciklerin biyokimyasal parametreler üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda *ex vitro* koşullarda hayatta kalma oranı bakımından en başarılı sonuçlar, karışık AMF suşlarıyla gerçekleştirilen aşılamalardan elde edilmiştir. AMF ile aşılaman bitkiciklerde bağıl su içeriği, kontrol grubuna kıyasla belirgin biçimde artmış; benzer şekilde, fotosentez oranlarında da önemli ölçüde bir artış gözlenmiştir. Özellikle *Glomus manihotis* ile yapılan aşılama, fotosentez hızının tüm uygulamalar arasında en yüksek seviyeye ulaştığı rapor edilmiştir. Elde edilen veriler, mikroçoğaltılmış bitkiciklerin pişkinleşme aşamasında karşılaştıkları çeşitli streslerin, AMF uygulamaları sayesinde etkin biçimde hafifletilebildiğini göstermektedir. Ayrıca denenen yedi farklı AMF uygulamasının tamamının, bitkiciklerde klorofil içeriğini artırdığı ortaya konmuştur. Yapılan bir diğer çalışmada bitkisel materyal olarak Kober 5BB Amerikan asma anacı üzerine aşılammış Merlot (*Vitis vinifera* L.) üzüm çeşidi kullanılmıştır. Çalışmada asma fidanlarına GRSPaV (asma rupestris gövde çukurlaştırma virüsü), GLRaV-3 (asma yaprak kıvrılmasıyla ilişkili virüs 3) ve GPGV (asma pinot gris virüsü) virüsleri ile enfekte olmuş üzüm asmasında iki farklı AMF aşılması (*Rhizophagus irregularis* ve 'Mix AMF') yapılmıştır. Biyotik strese maruz kalan asmalarda AMF kaynaklı değişimler en belirgin olarak daha yüksek net fotosentez hızı, H₂O iletkenliği, klorofil a konsantrasyonu, toplam karotenoid ve kuru madde içeriğinde görüldüğü tespit edilmiştir (Gaşi ve ark., 2023). Upreti ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmada 'Dogridge' Amerikan asma

anacında tuzluluk stresi uygulanmadan arbüsküler mikorizal mantar aşılması tek başına ve bakteriyel konsorsiyum aşılmasıyla birlikte uygulanmıştır. Aşılamadan 2 ay sonra asmalar tuzluluk stresine maruz bırakılmıştır. Çalışma, tuzluluk stresi uygulanmayan ancak AMF ile inoküle edilen anaçlarda kök gelişiminin, kök ve sürgün biyokütlesinin ve yaprak alanının belirgin biçimde arttığını; ayrıca yaprak su potansiyeli, ozmotik potansiyel, fotosentez hızı ve klorofil içeriğinin iyileştiğini ortaya koymuştur. Bunun yanında AMF uygulamasının, NaCl ile stres altına alınan bitkilerde tuzluluğun yol açtığı fizyolojik olumsuzlukları da anlamlı ölçüde hafiflettiği saptanmıştır. Krishna ve ark. (2006) tarafından yapılan çalışmada, *in vitro* koşullarda mikroçoğaltım yöntemi ile elde edilen ‘Pusa Urvashi’ üzüm çeşidinin transplantasyon şokunun azaltılmasına yönelik olarak, yedi farklı (*Acaulospora laevis*, *A. scrobiculata*, *Entrophospora colombiana*, *Gigaspora gigantea*, *Glomus manihotis*, *Scutellospora heterogama*) ile *Glomus moessae*, *G. manihotis* ve *Gigaspora gigantea*’yı içeren ticari karışık bir AMF’ nin köklere aşılmasının etkileri değerlendirilmiştir. Bu amaçla, söz konusu inokulasyonların bitkiler üzerindeki etkileri sertleşme dönemi boyunca kontrollü sera koşullarında incelenmiştir. Çalışma sonucunda hayatta kalma oranının *A.laevis* aşılması yapılmış bitkilerde kontrole kıyasla iki kat arttığı, kök- sürgün uzunlukları, yaprak alanı ve kök-sürgün kuru ağırlıklarında artış meydana geldiği rapor edilmiştir. Fosfor, azot, magnezyum, bakır, demir ve çinko besin elementlerinin alımı AMF aşılması ile önemli ölçüde artmıştır. Özellikle fosfor alımının kontrole kıyasla iki kat arttığı bildirilmiştir. İncelenen farklı parametreler açısından, *A. laevis*, *G. manihotis* ve karışık AMF aşılmasının en etkili aşılama olduğu belirlenmiştir. Gazioglu Sensoy (2022) tarafından yapılan çalışmada Ercis üzüm çeşidinde tuzluluk stresi koşullarında arbüsküler mikoriza, peynir altı suyu ve bunların kombinasyonları uygulanmıştır. Çalışmada arbüsküler mikorizal mantarlar uygulandıktan 2 ay sonra tuzluluk stresi oluşturulmuştur. Peynir altı suyu uygulamalarında ise çelikler köklendiğinde ve tomurcuklardan biri en az tam yapraklı olarak yaklaşık 10 cm filizlendiğinde tuzluluk stresi koşulları oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda tuzluluk stresinin bitkinin gelişimini olumsuz etkilediği rapor edilmiştir. Ancak uygulanan arbüsküler mikorizal mantarlar ve peynir altı suyu içeren uygulamaların tuz stresinin olumsuz etkilerini iyileştirdiği, kombinasyon halinde uygulanmasında kontrole kıyasla tüm parametrelerde en iyi sonuçları verdiği bildirilmiştir.

SÜRDÜRÜLEBİLİR BAĞCILIKTA MİKORİZAL MANTARLARIN ROLÜ

Arbüsküler mikorizal mantarlar (AMF), toprakta bitki kökleri ile kurdukları simbiyotik ilişki sayesinde bitkiler tarafından su ve besin maddesi alımında fayda sağlamaktadır. Bu simbiyotik ilişki, bitki topluluğunun sağlığı, ekosistem ve peyzaj düzeninde besin döngülerinin işleyişi için çok önemlidir (Aguilera ve ark., 2022). Bitkilerin kök sistemlerinde kolonizasyon oluşturarak köklerin içinde ve dışındaki rizosferde çeşitli yapılar oluşturmaktadır. Bu mantarlar, bitki tarafından sağlanan karbonu kullanarak toprak içerisinde kapsamlı bir hif ağı oluşturmakta ve böylece su ile fosforun yanı sıra birçok mikro besin elementinin bitkiye taşınmasını kolaylaştırmaktadır. AMF, özellikle düşük mobilitateye sahip inorganik fosfatın, köklerin erişemediği bölgelerden alınarak bitkiye kazandırılmasında önemli katkı sağlamaktadır (Goswami vd. 2018; Mathur ve ark., 2018; Rillig ve ark. 2019; Diagne ve ark., 2020; Shukla ve ark., 2025).

Toprağın her yerinde bulunan AMF, bitki beslenmesi ve sağlığı, su alımı, ekosistem ve toprak kalitesinde önemli bir rol oynaması nedeniyle tarımsal üretimde büyük bir öneme sahiptir. AMF, toprak mikrobiyal popülasyonunun yaklaşık %30'unu oluşturan baskın bir mikrobiyal gruptur. Bu mantarlar, özellikle ekstraradikal hifleri ve spor duvarları aracılığıyla glomalini üretirler. Toprakta glomaline ilişkili toprak proteini şeklinde ölçülen bu bileşik, toprak karbon havuzuyla bağlantılıdır. Glomalinin toprakta kararlı agregaların oluşumu yoluyla, AMF'nin toprak yapısının iyileştirilmesinde oynadığı kritik rolü ortaya koymaktadır. Bu nedenle AMF, hem toprak fiziksel özelliklerinin gelişmesine katkı sağlayan glomaline üretimi hem de toprak ekosisteminin sürdürülebilirliği açısından önemli bir mikroorganizma topluluğu olarak değerlendirilmektedir (Kumar ve ark., 2018; Wang ve ark., 2018; Barea, 2015; Aguilera ve ark., 2022).

Sürdürülebilir tarım uygulamaları kapsamında mikorizal mantarlar, toprak sağlığı üzerindeki çok yönlü olumlu etkileri sayesinde biyogübreleme programları için etkili adaylar olarak değerlendirilmektedir. Doğada yaygın biçimde bulunmaları, uzun raf ömürlerine sahip olmaları, üretimlerinin kolaylığı, bitki köklerinin yüzey alanını artırma kapasiteleri, çözünmeyen fosfatları bitkiler için erişilebilir hale getirme yetenekleri, topraktan mikro besin alımının iyileştirilmesi ve bitkilerin biyotik ve abiyotik stres koşullarına

karşı toleransını artırmaları, bu mikroorganizmaların başlıca avantajlı özellikleri arasında yer almaktadır (Baweja ve ark., 2020; Visconti ve ark., 2024)

Bağcılıkta, yaşam döngüsü boyunca belirli üretim hedefleri ve optimum koşullarda büyüme ve gelişmenin sağlanması amacıyla gübreleme, toprak işleme, yabancı ot kontrolü, hastalık ve zararlılarla mücadele gibi kültürel uygulamalara tabii tutulmaktadır. Bu uygulamaların yapılmasında toprağın gözeneklilik durumunu, havalanmasını, agregasyonunu ve organik madde miktarını azaltmaktadır. Böylece doğrudan veya dolaylı olarak toprağın biyolojik yapısına zarar vermekte ve asmanın su, oksijen ve besin maddelerine ulaşmasını azaltmaktadır. Toprak sağlığını koruyan ve hatta iyileşmesine yardımcı olan arbüsküler mikorizal mantarlar, asmaların keşfettiği toprak hacmini genişletme, N ve P gibi besin maddelerinin yeterli bir şekilde alınmasını sağlamaktadır. Mantar miselyumları, işletilebilir toprak hacmini arttırarak kök tüyleri tarafından keşfedilemeyecek toprak gözeneklerine erişim sağlamaktadır (Trouvelot ve ark., 2015).

Bağcılıkta sürdürülebilirlik, mineral ve organik gübrelerin dengeli yönetimini gerektirmekte; gübreleme stratejilerinin bağa özgü toprak ve iklim koşullarına uyarlanması önem taşımaktadır. Asma beslenme tercihlerinin toprak süreçleri üzerindeki etkileri uygulama öncesinde değerlendirilmelidir. Sürdürülebilir toprak yönetimi, yalnızca verim ve kaliteyi artırmayı değil, aynı zamanda toprak biyoçeşitliliği ve işlevselliğinin korunmasını da kapsamaktadır. Aşırı mineral gübre kullanımı, bitki canlılığını olumsuz etkilemekte, toprak enzimatik aktivitelerini azaltmakta ve mikrobiyal toplulukları bozarak toprak sağlığını zayıflatmaktadır. Ayrıca, fazla gübreleme tuzlanmaya ve çevresel besin kayıplarına yol açarak ekosistem sağlığını tehdit etmektedir. Bu nedenle gübre uygulamalarının ürün gereksinimleriyle uyumlu ve sürdürülebilir şekilde yönetilmesi gereklidir (Kibblewhite ve ark., 2008; Salomé ve ark., 2016; Pingel ve ark., 2019; Baweja ve ark., 2020; Visconti ve ark., 2024).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu bölümde, bağcılıkta arbüsküler mikorizal mantarların asma beslenmesi, stres toleransı ve sürdürülebilir üretim üzerindeki ortaya koymaktadır. AMF'nin asma kökleriyle kurduğu simbiyotik ilişki, bitkinin

fosfor, azot, potasyum gibi temel makro besin elementlerinin yanı sıra çinko ve bakır gibi mikro besin maddelerini daha etkin bir şekilde almasını sağlamaktadır. Literatürde incelenen çalışmalar, AMF kolonizasyonunun asmalarda sürgün ve kök gelişimini artırdığını, fotosentetik kapasiteyi iyileştirdiğini, su kullanım verimliliğini yükselttiğini ve mineral besin alımını optimize ettiğini göstermektedir. AMF'nin bağcılıkta ön plana çıkan bir diğer önemli rolü, bitkilerin biyotik ve abiyotik stres koşullarına karşı dayanıklılığını artırmasıdır. Kuraklık, tuzluluk, aşırı sıcaklık ve patojen saldırıları gibi stres faktörlerinin asmanın büyüme, gelişme ve verimliliği üzerinde olumsuz etkiler yarattığı bilinmektedir. AMF uygulanan asmalarda fotosentez hızının, klorofil içeriğinin ve genel fizyolojik canlılığın arttığı; su stresi altında bile bitkilerin yapısal ve metabolik işlevlerini koruyabildiği görülmektedir.

Farklı asma çeşitleri ve anaçlarında AMF türlerine özgü tepkilerin belirlenmesi önem taşımaktadır. AMF–asma etkileşiminin moleküler ve fizyolojik düzeyde daha ayrıntılı incelenmesi, simbiyotik ilişkinin mekanizmalarının daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır. Ayrıca iklim değişikliği nedeniyle meydana gelebilecek yüksek sıcaklık ve kuraklık gibi stres faktörlerine karşı AMF uygulamalarının uzun dönemli performansına yönelik çalışmaların artırılması gereklidir.

AMF uygulamaları bağcılık sektöründe hem verimlilik hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından güçlü bir potansiyel sunmaktadır. Besin alımını artırması, stres koşullarını hafifletmesi, toprak sağlığını iyileştirmesi ve kimyasal girdilere olan bağımlılığı azaltması, AMF'yi geleceğin sürdürülebilir bağcılık modellerinin vazgeçilmez bir unsuru hâline getirmektedir. Bu nedenle, AMF'nin bağcılıkta daha yaygın kullanımı hem üretim kalitesini artıracak hem de ekosistem sağlığının korunmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Aguilera, P., Becerra, N., Romero, J. K., Ortiz, N., Castillo, C., & Borie, F. (2022). Current Trends and Challenges in Viticulture Using Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *Mycorrhizal Fungi in South America: Biodiversity, Conservation, and Sustainable Food Production*, 357-371.
- Ahmed, N., Li, J., Li, Y., Deng, L., Deng, L., Chachar, M., ... & Tu, P. (2025). Symbiotic synergy: How Arbuscular Mycorrhizal Fungi enhance nutrient uptake, stress tolerance, and soil health through molecular mechanisms and hormonal regulation. *IMA fungus*, 16, e144989.
- Al-Hmoud G, Al-Momany A (2017) Effect of four mycorrhizal products on squash plant growth and its effect on physiological plant elements. *Adv Crop Sci Technol* 5:260
- Ateş, F., & Uysal, H. (2017). Determinations of adaptation level of wine grape varieties in terms of climatic data in wine growing regions of Turkey. In *BIO Web of Conferences* (Vol. 9, p. 01027). EDP Sciences.
- Barea, J. M. (2015). Future challenges and perspectives for applying microbial biotechnology in sustainable agriculture based on a better understanding of plant-microbiome interactions. *Journal of soil science and plant nutrition*, 15(2), 261-282.
- Baweja, P., Kumar, S., & Kumar, G. (2020). Fertilizers and pesticides: Their impact on soil health and environment. In *Soil health* (pp. 265-285). Cham: Springer International Publishing.
- Boorboori, M. R., & Lackóová, L. (2025). Arbuscular mycorrhizal fungi and salinity stress mitigation in plants. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1504970.
- Brundrett, M. C., & Abbott, L. K. (2002). Arbuscular mycorrhizas in plant communities. In *Microorganisms in plant conservation and biodiversity* (pp. 151-193). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Bucher M (2007) Functional biology of plant phosphate uptake at root and mycorrhizae interfaces. *New Phytol* 173:11–26
- Cardinale, M., Minervini, F., De Angelis, M., Papadia, P., Migoni, D., Dimaglie, M., ... & Rustioni, L. (2022). Vineyard establishment under exacerbated summer stress: effects of mycorrhization on rootstock

- agronomical parameters, leaf element composition and root-associated bacterial microbiota. *Plant and Soil*, 478(1), 613-634.
- Chandrasekeran, A., & Mahalingam, P. U. (2014). Diversity of arbuscular mycorrhizae fungi from orchard ecosystem. *Journal of Plant Pathology & Microbiology*, 5(2), 1.
- Chen S, Zhao H, Zou C, Li Y, Chen Y, Wang Z, Jiang Y, Liu A, Zhao P, Wang M, Ahammed GJ (2017) Combined inoculation with multiple arbuscular mycorrhizal fungi improves growth, nutrient uptake and photosynthesis in cucumber seedlings. *Front Microbiol* 8:2516
- Çelik H., Ağaoğlu Y.S., Fidan Y., Marasalı B., Söylemezoğlu G. (1998): Genel Bağcılık, Sunfidan A.S. Mesleki Kitaplar Serisi.
- Diagne, N., Ngom, M., Djighaly, P. I., Fall, D., Hoher, V., & Svistoonoff, S. (2020). Roles of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and performance: Importance in biotic and abiotic stressed regulation. *Diversity*, 12(10), 370.
- Du, B., Haensch, R., Alfarraj, S., & Rennenberg, H. (2024). Strategies of plants to overcome abiotic and biotic stresses. *Biological Reviews*, 99(4), 1524-1536.
- FAO. 2023. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Crops and livestock products. URL: <https://www.fao.org/statistics/en/> (accessed date: September 30, 2025).
- Frosi, G., Barros, V. A., Oliveira, M. T., Santos, M., Ramos, D. G., Maia, L. C., & Santos, M. G. (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi and foliar phosphorus inorganic supply alleviate salt stress effects in physiological attributes, but only arbuscular mycorrhizal fungi increase biomass in woody species of a semiarid environment. *Tree physiology*, 38(1), 25-36.
- Gaši, E., Radić, T., Čarija, M., Gambino, G., Balestrini, R., & Hančević, K. (2023). Arbuscular mycorrhizal fungi induce changes of photosynthesis-related parameters in virus infected grapevine. *Plants*, 12(9), 1783.
- Gaziloglu Sensoy, R. I. (2022). Effects of arbuscular mycorrhizal fungus (AMF) and whey applications on the grapevine (*Vitis vinifera* L.) cuttings exposed to salt stress. *Journal of Elementology*, 27(3), 507-519.

- Gosling, P., Hodge, A., Goodlass, G., & Bending, G. D. (2006). Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agriculture, ecosystems & environment*, 113(1-4), 17-35.
- Grassi, F., & Arroyo-Garcia, R. (2020). Origins and Domestication of the Grape. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1176.
- Hashem, A., Alqarawi, A. A., Radhakrishnan, R., Al-Arjani, A. B. F., Aldehaish, H. A., Egamberdieva, D., & Abd_Allah, E. F. (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi regulate the oxidative system, hormones and ionic equilibrium to trigger salt stress tolerance in *Cucumis sativus* L. *Saudi journal of biological sciences*, 25(6), 1102-1114.
- Jian, P., Zhang, H., Xi, X., Yin, X., Sun, P., Zha, Q., & Zhang, D. (2025). Research on the Response of Arbuscular Mycorrhizae Fungi to Grape Growth Under High Temperature Stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(13), 6165.
- Kamayestani, A., Rezaei, M., Sarkhosh, A., & Asghari, H. R. (2019). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi ('*Glomus mosseae*') on growth enhancement and nutrient (NPK) uptake of three grape ('*Vitis vinifera*'L.) cultivars under three different water deficit levels. *Australian Journal of Crop Science*, 13(9), 1401-1408.
- Kapilan, R., Vaziri, M., & Zwiazek, J. J. (2018). Regulation of aquaporins in plants under stress. *Biological research*, 51(1), 4.
- Kibblewhite, M. G., Ritz, K., & Swift, M. J. (2008). Soil health in agricultural systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1492), 685-701.
- Korkutal, İ., & Bahar, E. (2024). Mikorizalar ve Bağcılıkta Kullanımı. *ANADOLU Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 34(1), 97-107.
- Krishna, H., Singh, S. K., Minakshi, Patel, V. B., Khawale, R. N., Deshmukh, P. S., & Jindal, P. C. (2006). Arbuscular-mycorrhizal fungi alleviate transplantation shock in micropropagated grapevine (*Vitis vinifera* L.). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 81(2), 259-263.
- Krishna, H., Singh, S. K., Sharma, R. R., Khawale, R. N., Grover, M., & Patel, V. B. (2005). Biochemical changes in micropropagated grape (*Vitis vinifera* L.) plantlets due to arbuscular-mycorrhizal fungi (AMF)

- inoculation during ex vitro acclimatization. *Scientia horticulturae*, 106(4), 554-567.
- Kumar, S., Singh, A. K., & Ghosh, P. (2018). Distribution of soil organic carbon and glomalin related soil protein in reclaimed coal mine-land chronosequence under tropical condition. *Science of the Total Environment*, 625, 1341-1350.
- Lambers, H., & Teste, F. P. (2013). Interactions between arbuscular mycorrhizal and non-mycorrhizal plants: do non-mycorrhizal species at both extremes of nutrient availability play the same game. *Plant Cell Environ*, 36(11), 1911-1915.
- Liang, B. B., Wang, W. J., Fan, X. X., Kurakov, A. V., Liu, Y. F., Song, F. Q., & Chang, W. (2021). Arbuscular mycorrhizal fungi can ameliorate salt stress in *Elaeagnus angustifolia* by improving leaf photosynthetic function and ultrastructure. *Plant Biology*, 23, 232-241.
- Mathur, S., Sharma, M. P., & Jajoo, A. (2018). Improved photosynthetic efficacy of maize (*Zea mays*) plants with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) under high temperature stress. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 180, 149-154.
- Mathur, S., Tomar, R. S., & Jajoo, A. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) protects photosynthetic apparatus of wheat under drought stress. *Photosynthesis Research*, 139(1), 227-238.
- Mitra D, Navendra U, Panneerselvam U, Ansuman S, Ganeshamurthy AN, Divya J (2019) Role of mycorrhiza and its associated bacteria on plant growth promotion and nutrient management in sustainable agriculture. *Int J Life Sci* 1:1–10
- Moukarzel, R., Ridgway, H. J., Waller, L., Guerin-Laguette, A., Cripps-Guazzone, N., & Jones, E. E. (2023). Soil arbuscular mycorrhizal fungal communities differentially affect growth and nutrient uptake by grapevine rootstocks. *Microbial Ecology*, 86(2), 1035-1049.
- Nicolás, E., Maestre-Valero, J. F., Alarcón, J. J., Pedrero, F., Vicente-Sánchez, J., Bernabé, A., ... & Fernández, F. (2015). Effectiveness and persistence of arbuscular mycorrhizal fungi on the physiology, nutrient uptake and yield of Crimson seedless grapevine. *The Journal of Agricultural Science*, 153(6), 1084-1096.

- Ortaş, I., & Rafique, M. (2017). The mechanisms of nutrient uptake by arbuscular mycorrhizae. In *Mycorrhiza-Nutrient uptake, biocontrol, ecorestoration* (pp. 1-19). Cham: Springer International Publishing.
- Ozdemir, G., Akpınar, C., Sabir, A., Bilir, H., Tangolar, S. E. M. İ. H., & Ortas, I. (2010). Effect of inoculation with mycorrhizal fungi on growth and nutrient uptake of grapevine genotypes (*Vitis* spp.). *European journal of horticultural science*, 75(3), 103-110.
- Öztürk, L., Sivri, N., Şin, B. (2022). Arbuscular Mikorizal Fungusların Bağcılıkta Bitki Gelişimi, Hastalık, Yabancı Ot ve Nematod Mücadelesinde Etkinlikleri. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 15(2), 1-28.
- Pagliarani, I., Grassi, A., Agnolucci, M., Turrini, A., Avio, L., & Giovannetti, M. (2025). The nonhost mycorrhizal status of weeds and its relevance to weed management in agroecology. *Frontiers in Agronomy*, 7, 1601329.
- Palta, Ş., Demir, S., Şengönül, K., Kara, Ö., & Şensoy, H. (2010). Arbüsküler Mikorizal Funguslar (AMF), Bitki ve Toprakla İlişkileri, Mera Islahındaki Önemleri. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 12(18), 87-98.
- Parniske, M. (2008). Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. *Nature Reviews Microbiology*, 6(10), 763-775.
- Pingel, M., Reineke, A., & Leyer, I. (2019). A 30-years vineyard trial: plant communities, soil microbial communities and litter decomposition respond more to soil treatment than to N fertilization. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 272, 114-125.
- Prasad R, Bhola D, Akdi K, Cruz C, Sairam KVSS, Tuteja N, Varma A (2017) Introduction to mycorrhiza: historical development. In: Varma A, Prasad R, Tuteja N (eds) *Mycorrhiza*. Springer, Cham. pp 1–7
- Rennenberg, H., & Simon, J. (2013). Synthesis of Section I: Growth and Defense in Plants: the Players. In *The Alternatives Growth and Defense: Resource Allocation at Multiple Scales in Plants* (eds R. Matyssek, U. Lüttge and H. Rennenberg), pp. 93–98. Stuttgart, Nova acta Leopoldina.
- Rillig, M. C. (2004). Arbuscular mycorrhizae and terrestrial ecosystem processes. *Ecology letters*, 7(8), 740-754.
- Romero-Munar, A., Del-Saz, N. F., Ribas-Carbó, M., Flexas, J., Baraza, E., Florez-Sarasa, I., ... & Gulías, J. (2017). Arbuscular mycorrhizal symbiosis with *Arundo donax* decreases root respiration and increases

- both photosynthesis and plant biomass accumulation. *Plant, Cell & Environment*, 40(7), 1115-1126.
- Sağlam, H., & Çalkan Sağlam, Ö. (2018). Türkiye Bağcılığına Tarihsel Bir Bakış; Asma Genetik Kaynaklarının Önemi. *Selcuk Journal of Agriculture & Food Sciences/Selcuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 32(3).
- Salomé, C., Coll, P., Lardo, E., Metay, A., Villenave, C., Marsden, C., ... & Le Cadre, E. (2016). The soil quality concept as a framework to assess management practices in vulnerable agroecosystems: A case study in Mediterranean vineyards. *Ecological Indicators*, 61, 456-465.
- Samanta, I., Ghosh, K., Saikia, R., Savita, Maity, P. J., & Chowdhary, G. (2025). Arbuscular mycorrhizal fungi—a natural tool to impart abiotic stress tolerance in plants. *Plant Signaling & Behavior*, 20(1), 2525843.
- Schreiner, R. P. (2007). Effects of native and nonnative arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nutrient uptake of ‘Pinot noir’ (*Vitis vinifera* L.) in two soils with contrasting levels of phosphorus. *Applied soil ecology*, 36(2-3), 205-215.
- Schüßler, A., Schwarzott, D., & Walker, C. (2001). A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological research*, 105(12), 1413-1421.
- Shukla, S., Didwania, N., & Choudhary, R. (2025). Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF): a pathway to sustainable soil health, carbon sequestration, and greenhouse gas mitigation. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 24(4), 22.
- Smith SE, Read D (2008) The symbionts forming arbuscular mycorrhizas. In: *Mycorrhizal Symbiosis*. 3rd Edition, Academic Press, New York, 787 p
- Torres, N., Yu, R., & Kurtural, S. K. (2021). Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation and applied water amounts modulate the response of young grapevines to mild water stress in a hyper-arid season. *Frontiers in Plant Science*, 11, 622209.
- Trouvelot, S., Bonneau, L., Redecker, D., Van Tuinen, D., Adrian, M., & Wipf, D. (2015). Arbuscular mycorrhiza symbiosis in viticulture: a review. *Agronomy for sustainable development*, 35(4), 1449-1467.

- Trouvelot, S., Bonneau, L., Redecker, D., Van Tuinen, D., Adrian, M., & Wipf, D. (2015). Arbuscular mycorrhiza symbiosis in viticulture: a review. *Agronomy for sustainable development*, 35(4), 1449-146
- TÜİK. 2024. Türkiye İstatistik Kurumu. Meyve ürünleri içecek ve baharat bitkileri üretim miktarları. URL: <https://www.tuik.gov.tr/> (accessed date: September 30, 2025).
- Umer, M., Anwar, N., Mubeen, M., Li, Y., Ali, A., Alshaharni, M. O., & Liu, P. (2025). Roles of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth and disease management for sustainable agriculture. *Frontiers in microbiology*, 16, 1616273.
- Upreti, K. K., Bhatt, R. M., Panneerselvam, P., & Varalakshmi, L. R. (2016). Morpho-physiological responses of grape rootstock 'Dogridge'to arbuscular mycorrhizal fungi inoculation under salinity stress. *International journal of fruit science*, 16(2), 191-209.
- Valentine, A. J., Mortimer, P. E., Lintnaar, M., & Borgo, R. (2006). Drought responses of arbuscular mycorrhizal grapevines.
- van Der Heijden, M. G., Martin, F. M., Selosse, M. A., & Sanders, I. R. (2015). Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. *New phytologist*, 205(4), 1406-1423.
- Velaz, M., Santesteban, L. G., & Torres, N. (2025). Mycorrhizae and grapevines: the known unknowns of their interaction for wine growers' challenges. *Journal of Experimental Botany*, eraf081.
- Visconti, F., Lopez, R., & Olego, M. A. (2024). The health of vineyard soils: Towards a sustainable viticulture. *Horticulturae*, 10(2), 154.
- Wang, Q., Lu, H., Chen, J., Hong, H., Liu, J., Li, J., & Yan, C. (2018). Spatial distribution of glomalin-related soil protein and its relationship with sediment carbon sequestration across a mangrove forest. *Science of the Total Environment*, 613, 548-556.
- Wang, Y., Wang, M., Li, Y., Wu, A., & Huang, J. (2018). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nitrogen uptake of *Chrysanthemum morifolium* under salt stress. *PLoS One*, 13(4), e0196408.
- Wen, J., Harris, A. J., Kalburgi, Y., Zhang, N., Xu, Y., Zheng, W., ... & Zimmer, E. A. (2018). Chloroplast phylogenomics of the New World grape species (*Vitis*, Vitaceae). *Journal of Systematics and Evolution*, 56(4), 297-308.

Ye, Q., Wang, H., & Li, H. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi improve growth, photosynthetic activity, and chlorophyll fluorescence of *Vitis vinifera* L. cv. Ecolly under drought stress. *Agronomy*, 12(7), 1563.

BÖLÜM 6

REJENERATİF TARIM: İLKELER, EKOSİSTEM YARARLARI VE UYGULAMA ZORLUKLARI

Doç. Dr. Neriman Tuba BARLAS¹

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.17969593>

¹ Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü
tuba.barlas@ege.edu.tr, tubabarlas@gmail.com

1. Giriş

Küresel ölçekte artan gıda talebi, iklim değişikliği baskıları ve toprak bozulumu, mevcut tarımsal üretim sistemlerinin sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir. Bu bağlamda rejeneratif tarım, tarım arazilerinin ekolojik işlevlerini güçlendirmeyi ve üretim sistemlerini daha dayanıklı hâle getirmeyi amaçlayan bütüncül bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır. Pratik uygulamaları bölgesel ve çiftlik özelinde değişmekle birlikte, rejeneratif tarımın temel amacı; toprak, su, biyolojik çeşitlilik ve karbon döngüsü gibi ekosistem bileşenlerinde iyileşme sağlamaktır.

2. Rejeneratif Tarımın Tanımı ve Kavramsal Çerçevesi

Rejeneratif tarım için evrensel olarak kabul edilmiş tek bir tanım bulunmamakla birlikte, yaklaşım çoğunlukla aşağıdaki uygulama ilkeleri üzerinden tanımlanmaktadır:

- Minimum toprak işleme
- Örtü bitkisi kullanımı
- Ürün çeşitlendirme
- Kompost ve organik madde uygulamaları
- Rotasyonlu ve kontrollü otlatma
- Hayvancılık–bitkisel üretim entegrasyonu
- Sentetik girdilerin azaltılması
- Agroormancılık uygulamaları

Bu ilkeler, sabit bir uygulama listesinden ziyade hedeflenen ekolojik çıktılara odaklanır. Bu nedenle rejeneratif tarım, organik tarım, agroekoloji ve sürdürülebilir tarımla kesişen ancak onlardan daha esnek ve sonuç odaklı bir çerçeve sunar (Giller et al., 2021; McLennon et al., 2021; Khangura et al., 2023).

3. Temel Rejeneratif Tarım Uygulamaları

3.1. Toprak Sağlığı Üzerine Etkiler

Rejeneratif uygulamalar, toprak organik maddesinin artışı, mikrobiyal çeşitliliğin gelişmesi, agregat stabilitesinin iyileşmesi ve erozyonun azalması gibi olumlu etkiler yaratmaktadır. Örtü bitkileri ve kompost uygulamaları özellikle karbon birikimini artırarak toprak verimliliğini güçlendirmektedir (Sher et al., 2024; Akhil et al., 2025).

3.2. Biyolojik Çeşitliliğin Artırılması

Rejeneratif tarım, hem toprak altı (mikrobiyal biyokütle, mikoriza) hem de toprak üstü biyolojik çeşitliliği desteklemektedir. Ürün çeşitlendirme ve habitat çeşitliliğinin artırılması, ekosistem dayanıklılığına doğrudan katkı sağlamaktadır (Fenster et al., 2021; Singh et al., 2022).

3.3. İklim Değişikliği ile Mücadele ve Ekosistem Hizmetleri

Azaltılmış toprak işleme ve örtü bitkileri gibi uygulamalar karbonun toprakta tutulmasını artırarak iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir araç sunar. Aynı zamanda su tutma kapasitesi ve besin döngüsü verimliliği gibi ekosistem hizmetlerinde iyileşme sağlanmaktadır (Lal, 2020; Khangura et al., 2023; Sher et al., 2024).

3.4. Verimlilik, Karlılık ve Ekonomik Performans

Kısa vadede bazı rejeneratif tarım uygulamaları, özellikle geçiş döneminde, verim düşüşlerine yol açabilir. Ancak orta ve uzun vadede işletme maliyetlerinde azalma, toprak verimliliğinde artış ve iklimsel dalgalanmalara karşı dayanıklılığın yükselmesi nedeniyle kârlılık çoğu zaman artış göstermektedir (LaCanne & Lundgren, 2018; Hatt et al., 2024). Sentetik girdilerin azaltılması ve girdi maliyetlerinin düşmesi, çiftlik gelirinin sürdürülebilir şekilde artmasına katkıda bulunur.

3.5. Ürünlerin Besin İçeriği

Yeni bulgular, rejeneratif tarım yöntemleriyle yetiştirilen ürünlerin daha yüksek düzeyde mineral madde içeriği, antioksidan kapasitesi ve fitokimyasal içerik gösterebildiğini ortaya koymaktadır (Montgomery et al., 2022; Feliziani et al., 2025).

4. Rejeneratif Tarım Uygulamalarının Karşılaştırmalı Değerlendirmesi

Tablo 1’de sunulan karşılaştırmalı değerlendirme, rejeneratif tarımın temel uygulamalarının ekosistem bileşenleri üzerindeki farklı ancak birbirini tamamlayan etkilerini ortaya koymaktadır. Minimum veya azaltılmış toprak işleme, toprak sağlığını önemli ölçüde iyileştirirken karbon sekestrasyonu üzerindeki güçlü etkisi sayesinde iklim dostu bir uygulama olarak öne

çıkılmaktadır; ancak ekonomik kârlılığı bağlamsal koşullara bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Örtü bitkilerinin kullanımı hem toprak sağlığı hem biyolojik çeşitlilik açısından en yüksek faydayı sağlayan uygulamalardan biri olup, iklim etkisi de oldukça yüksektir; bununla birlikte ekonomik getirisi orta düzeyde kalabilmektedir. Hayvancılık entegrasyonu, toprak ve biyolojik çeşitliliğe önemli katkılar sunarken aynı zamanda çiftlik düzeyinde yüksek ekonomik kârlılık sağlayabilen bir uygulamadır; ancak iklim etkisi diğer uygulamalara göre daha sınırlıdır. Sentetik girdilerin azaltılması ise özellikle biyolojik çeşitlilik ve iklim açısından yüksek fayda sağlamakla birlikte, ekonomik performansı üretim sisteminin özelliklerine göre değişebilmektedir. Genel olarak tablo, en yüksek ekosistem faydalarının; uygulamaların birlikte ve bütüncül bir strateji olarak kullanılması durumunda ortaya çıktığını göstermektedir.

Tablo 1. Temel Rejeneratif Uygulamalar ve Ekosistem Çıktıları

Uygulama	Toprak Sağlığı	Biyolojik Çeşitlilik	Ekonomik Karlılık	İklim Etkisi	Kaynaklar
Minimum/Az Toprak İşleme	Yüksek	Orta	Değişken	Yüksek	Fenster et al., 2021; Khangura et al., 2023;
Örtü Bitkileri	Yüksek	Yüksek	Orta	Yüksek	Akhil et al., 2025; U. et al., 2025
Hayvancılık Entegrasyonu	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta	Hatt et al., 2024
Sentetik Girdilerin Azaltılması	Orta	Yüksek	Değişken	Yüksek	Fenster et al., 2021; Hatt et al., 2024

Bu uygulamalar, tek başlarına olumlu etkiler yaratmakla birlikte, en büyük faydalar genellikle uygulamaların kombine edildiği sistemlerde görülmektedir.

5. Rejeneratif Tarımın Yaygınlaşmasının Önündeki Zorluklar

Rejeneratif tarımın potansiyeli yüksek olmakla birlikte, uygulamada çeşitli engellerle karşılaşmaktadır:

5.1. Ekonomik ve Yönetimsel Engeller

- Geçiş döneminde verim düşüşü riski
- Yeni ekipman ve bilgi gereksinimi
- Girdi kullanımındaki değişimlere bağlı belirsizlikler

5.2. Standart Tanım ve Sertifikasyon Eksikliği

Evrensel bir tanımın ve resmi sertifikasyon sisteminin olmayışı, rejeneratif tarımın uygulanmasını ve izlenmesini zorlaştırmaktadır.

5.3. Bilgi ve Eğitim Eksikliği

Çiftçiler ve teknik personel arasında rejeneratif tarım uygulamalarına ilişkin bilgi eksikliği yaygındır. Bölgeye özgü araştırmaların azlığı bu sorunu daha da artırmaktadır.

5.4. Bölgesel ve İklimsel Farklılıklar

Rejeneratif tarım uygulamalarının etkinliği, toprak yapısı, iklim, sosyoekonomik koşullar ve üretim sistemine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Giller et al., 2021; Schreefel et al., 2022).

6. Gelecek Perspektifleri

Rejeneratif tarımın geniş çapta uygulanabilmesi için:

- Bölgesel uzun dönemli araştırmaların artırılması,
- Politik teşvik mekanizmalarının geliştirilmesi,
- Çiftçi eğitim programlarının yaygınlaştırılması,
- Veri temelli karar destek sistemlerinin oluşturulması gerekmektedir.

Araştırmalar, özellikle karbon sekestrasyonu, biyolojik çeşitlilik ve ekonomik dayanıklılık konularında daha güçlü, çok lokasyonlu ve uzun vadeli çalışmaların yapılması gerektiğini vurgulamaktadır (Giller et al., 2021; McLennon et al., 2021; Schreefel et al., 2022; Khangura et al., 2023; Sands et

al., 2023; Dudek & Rosa, 2023; Hatt et al., 2024; Akhil et al., 2025; U. et al., 2025).

7. Sonuç

Rejeneratif tarım, yalnızca üretim sistemlerinin sürdürülebilirliğini değil, aynı zamanda tarımsal ekosistemlerin bütüncül sağlığını iyileştirmeyi hedefleyen yenilikçi bir yaklaşımdır. Toprak, su, biyolojik çeşitlilik ve iklimsel dirençlilik açısından önemli faydalar sunmasına karşın, yaygın ve etkili bir şekilde uygulanabilmesi için daha fazla bilimsel kanıt, güçlü politika desteği ve bölgesel koşullara uygun rehberlik gerekmektedir. Uygulama ilkeleri doğru biçimde planlandığında rejeneratif tarım, geleceğin sürdürülebilir tarım sistemleri için güçlü bir çerçeve sunmaktadır.

Kaynaklar

1. Akhil, K., S, R., M, V., Sowjanya, J., S.M, K., & S.M, B. (2025). Revitalizing Soil Health through Regenerative Agriculture: History, Principles, Practices and Challenges. International Journal of Environment and Climate Change. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2025/v15i84969>
2. Dudek, M., & Rosa, A. (2023). Regenerative Agriculture as a Sustainable System of Food Production: Concepts, Conditions, Perceptions and Initial Implementations in Poland, Czechia and Slovakia. Sustainability. <https://doi.org/10.3390/su152215721>
3. Feliziani, G., Bordoni, L., & Gabbianelli, R. (2025). Regenerative Organic Agriculture and Human Health: The Interconnection Between Soil, Food Quality, and Nutrition. Antioxidants, 14. <https://doi.org/10.3390/antiox14050530>
4. Fenster, T., Oikawa, P., & Lundgren, J. (2021). Regenerative Almond Production Systems Improve Soil Health, Biodiversity, and Profit. **, 5. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.664359>
5. Giller, K., Hijbeek, R., Andersson, J., & Sumberg, J. (2021). Regenerative Agriculture: An agronomic perspective. Outlook on Agriculture, 50, 13 - 25. <https://doi.org/10.1177/0030727021998063>
6. Hatt, S., Armbrecht, I., Lundgren, J., & Wyckhuys, K. (2024). Editorial: Breathing new life into farming: illuminating the socio-ecological benefits of regenerative agriculture. Frontiers in Sustainable Food Systems. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1515184>
7. Khangura, R., Ferris, D., Wagg, C., & Bowyer, J. (2023). Regenerative Agriculture—A Literature Review on the Practices and Mechanisms Used to Improve Soil Health. Sustainability. <https://doi.org/10.3390/su15032338>
8. LaCanne, C., & Lundgren, J. (2018). Regenerative agriculture: merging farming and natural resource conservation profitably. PeerJ, 6. <https://doi.org/10.7717/peerj.4428>
9. Lal, R. (2020). Regenerative agriculture for food and climate. Journal of Soil and Water Conservation, 75, 123A - 124A. <https://doi.org/10.2489/jswc.2020.0620a>

10. McLennon, E., Dari, B., Jha, G., Sihi, D., & Karnakala, V. (2021). Regenerative agriculture and integrative permaculture for sustainable and technology driven global food production and security. *Agronomy Journal*. <https://doi.org/10.1002/agj2.20814>
11. Montgomery, D., Biklé, A., Archuleta, R., Brown, P., & Jordan, J. (2022). Soil health and nutrient density: preliminary comparison of regenerative and conventional farming. *PeerJ*, 10. <https://doi.org/10.7717/peerj.12848>
12. Sands, B., Machado, M., White, A., Zent, E., & Gould, R. (2023). Moving towards an anti-colonial definition for regenerative agriculture. *Agriculture and Human Values*, 40, 1697-1716. <https://doi.org/10.1007/s10460-023-10429-3>
13. Schreefel, L., Van Zanten, H., Groot, J., Timler, C., Zwetsloot, M., Schrijver, A., Creamer, R., Schulte, R., & De Boer, I. (2022). Tailor-made solutions for regenerative agriculture in the Netherlands. *Agricultural Systems*. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103518>
14. Sher, A., Li, H., Ullah, A., Hamid, Y., Nasir, B., & Zhang, J. (2024). Importance of regenerative agriculture: climate, soil health, biodiversity and its socioecological impact. *Discover Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00662-z>
15. Singh, I., Hussain, M., G, M., Chandra, N., & G, R. (2022). Regenerative agriculture augments bacterial community structure for a healthier soil and agriculture. *Frontiers in agronomy*, 5. <https://doi.org/10.3389/fagro.2023.1134514>
16. U., P., Nethra, J., Rao, M., & Varshini, P. (2025). Regenerative Agriculture and Soil Conservation: A Comprehensive Review. *International Journal of Environment and Climate Change*. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2025/v15i34774>

BÖLÜM 7

MISIR (*Zea mays L.*) BİTKİSİNDE VERİM ARTIŞI VE STRES TOLERANSININ ARTIRILMASINDA YENİLİKÇİ YÖNTEMLER VE TEKNOLOJİLER

Zir.Yük. Müh. Şehmüs ATAKUL¹, Prof. Dr. Abdullah ÖKTEM²

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.17969608>

¹ GAP Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi Müdürlüğü, Diyarbakır, Türkiye. sehmus.atakul@tarimorman.gov.tr.

² Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı, Şanlıurfa, Türkiye. aoktem@harran.edu.tr

1. GİRİŞ

Mısır (*Zea mays* L.), dünya genelinde hem insan beslenmesinde hem hayvan yemi üretiminde hem de endüstriyel hammadde kaynağı olarak yaygın biçimde kullanılan çok yönlü bir tahıl türüdür. Bitkinin yüksek adaptasyon kabiliyeti, kısa gelişme süresi ve mekanizasyona uygunluğu, onu tarımsal üretimde ön plana çıkarmaktadır. Ayrıca, son yıllarda artan biyoetanol üretimi nedeniyle **enerji tarımı** kapsamında da önem kazanmaktadır (Ray ve ark., 2013).

1.1. Küresel Mısır Üretimi ve Önemi

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'nün (FAO, 2023) 2023–2024 sezonuna ilişkin verilerine göre, **dünya mısır üretimi yaklaşık 1,242 milyar ton** düzeyine ulaşmıştır. Bu üretimin önemli bir kısmı üç ülke tarafından gerçekleştirilmekte olup;

- **Amerika Birleşik Devletleri (ABD):** 348 milyon ton,
- **Çin:** 280 milyon ton,
- **Brezilya:** 127 milyon ton üretimle, küresel üretimin büyük bölümünü oluşturmaktadır.

Mısır, sadece üretim hacmiyle değil, aynı zamanda **beslenme sistemlerindeki katkısıyla** da dikkat çekmektedir. Küresel düzeyde günlük kalori tüketiminin yaklaşık **%19,5'lik kısmı mısır kaynaklıdır** (Lobell ve ark., 2011). Bunun yanında, mısır bitkisi hayvansal üretimde rasyonların ana karbonhidrat kaynağını oluşturarak dolaylı olarak protein üretimini de desteklemektedir.

Küresel nüfus artışı, hayvansal üretim taleplerindeki büyüme ve yenilenebilir enerji sektöründe biyoetanole olan ilginin artması sonucunda, mısıra olan talebin 2050 yılına kadar **%60–70 oranında artacağı** tahmin edilmektedir (Ray ve ark., 2013). Bu nedenle mısır, tarımsal üretimde stratejik ürün kategorisinde değerlendirilmektedir.

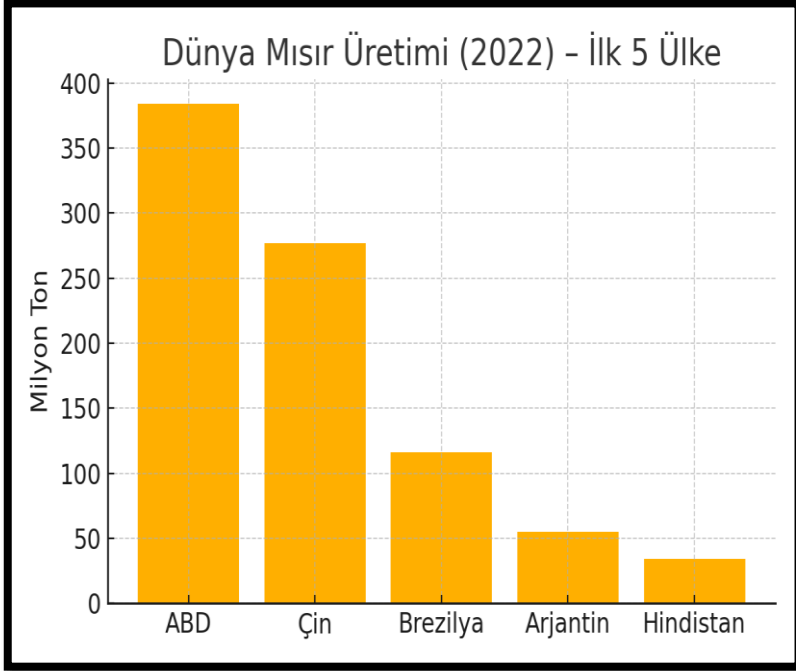
1.2. Türkiye’de Mısır Üretimi ve Tüketim Dengesi

Türkiye’de mısır üretimi son yıllarda artış gösterse de ülke içi tüketimi karşılamakta yetersiz kalmaktadır. TÜİK ve Tarım ve Orman Bakanlığı (2023) verilerine göre:

- **Yıllık mısır üretimi:** 8,5 milyon ton
- **Ekim alanı:** Yaklaşık 700.000 hektar
- **İç tüketim miktarı:** Yıllık 9,5–10 milyon ton aralığında

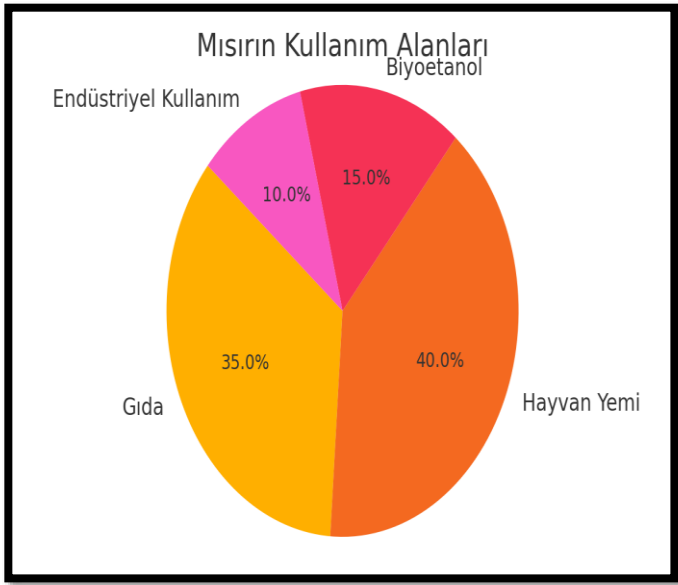
İç tüketimin önemli bir bölümü (%70’ten fazlası), **hayvan yemi sanayinde** kullanılmaktadır. Geri kalanı ise nişasta bazlı şeker (NBŞ) üretimi, gıda katkı maddeleri ve endüstriyel nişasta gibi alanlara yönelmektedir (GTHB, 2023).

Bu üretim-tüketim açığı, **yaklaşık 2 milyon tonluk mısır ithalatına** yol açmaktadır. Türkiye, mısır ihtiyacını büyük oranda **Ukrayna** ve **ABD** gibi ülkelerden temin etmektedir. Bu da özellikle küresel krizler (örneğin: Ukrayna-Rusya Savaşı) gibi durumlarda arz güvenliği açısından kırılganlık yaratmaktadır.

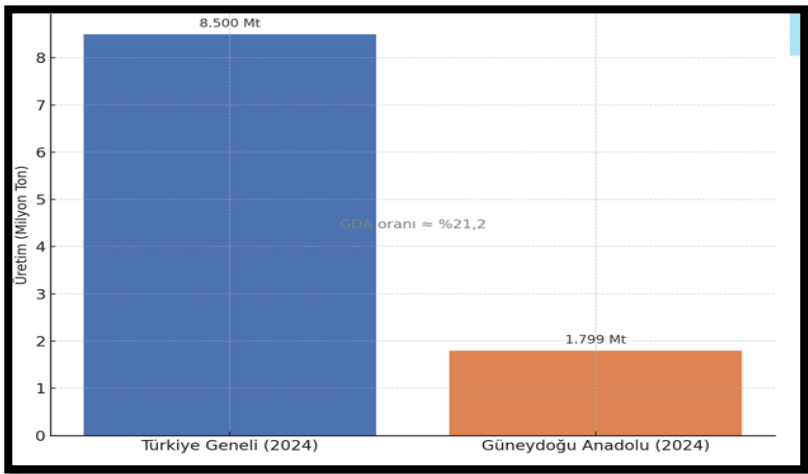


Şekil 1. Dünya Mısır Üretimi (2022) – En Fazla Üretim Yapan İlk 5 Ülke

(FAO,2023)



Şekil 2. Mısırın Kullanım Alanlarına Göre Dağılımı (%) (FAO,2023; USDA,2023)



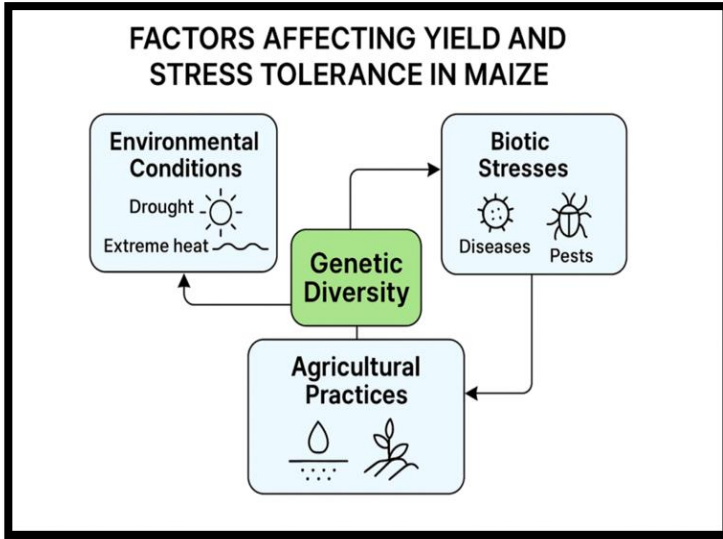
Şekil 3. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin Türkiye Mısır Üretimindeki Payı (TUIK, 2025)

2. MISIRDA VERİMİ VE STRES TOLERANSINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Mısır (*Zea mays* L.), dünya genelinde en yaygın olarak yetiştirilen ve ekonomik önemi yüksek tahıl bitkilerinden biridir. Gıda, yem ve endüstriyel ham madde olarak çok yönlü kullanım alanlarına sahip olan mısır, özellikle gelişmekte olan ülkelerde hem kırsal kalkınma hem de gıda güvenliği açısından stratejik bir üründür.

Ancak, mısır üretiminde verimi belirleyen faktörler; genetik yapıdan çevresel koşullara, tarımsal uygulamalardan biyotik ve abiyotik streslere kadar çok geniş bir yelpazeye yayılmaktadır. İklim değişikliği, su yetersizliği, toprak verimsizliği, hastalık ve zararlılar gibi unsurlar, üretim potansiyelini ciddi şekilde sınırlamakta; buna karşın uygun çeşit seçimi, sulama yönetimi ve sürdürülebilir tarım teknikleri ile verimde önemli artışlar sağlanabilmektedir.

Bu sunumda, mısırdaki verime doğrudan veya dolaylı olarak etki eden başlıca faktörler bilimsel temellerle ele alınacak ve bu faktörlerin tarımsal verimlilik üzerindeki göreceli önemi tartışılacaktır. Amaç, mısır tarımında verimi optimize etmek için izlenmesi gereken stratejik yolları ortaya koymaktır.



Şekil 4. Mısırdaki Verimi ve Stres Toleransını Etkileyen Faktörler (Prasanna ve ark. (2021) temel alınarak uyarlanmıştır. İklim Direnci Açısından Mısırın Islahı. CGIAR Mısır Programı.)

Çizelge 1. Mısırdaki 2024 yılı Stres Kaynaklı Verim Kayıplarının Miktar ve Finansal Değer Tahmini

Bölge	Üretim (Mt)	Kayıp Oranı (%)	Kaybedilen Tonaj (Mt)	Finansal Değer (USD/TRY)
Dünya	1.200	15 %	180	≈ 54 milyar USD
Dünya		25 %	300	≈ 90 milyar USD
Türkiye	8.4	15 %	1.26	≈ 8.8 milyar TRY
Türkiye		20 %	1.68	≈ 11.8 milyar TRY

Kaynak: Zampieri ve ark., 2017; FAO, 2023; Lobell ve ark., 2011; Ray ve ark., 2019; USDA, 2024; TÜİK, 2025; Yercan ve ark., 2020; Karabulut ve ark., 2022; TAGEM (2021).

2.1. Genetik Çeşitlilik ve Mısırdaki Verim-Stres Toleransı İlişkisi

Genetik çeşitlilik, bitkilerin çevresel stres koşullarına (kuraklık, yüksek sıcaklık, tuzluluk gibi abiyotik stresler) ve biyotik tehditlere (hastalıklar, zararlılar) karşı direnç geliştirebilme kapasitesinin temel belirleyicilerindendir (Prasanna ve ark., 2021; Seydoşoğlu ve Basbağ, 2025). Mısır (*Zea mays* L.), açık tozlaşan ve genetik olarak heterojen bir tür olması sayesinde, geniş varyasyon yelpazesi sunar. Bu çeşitlilik, stres toleransı ve verimlilik gibi önemli agronomik özelliklerin ıslahında büyük avantaj sağlar (CIMMYT, 2020; Seydoşoğlu ve ark., 2025).

Yapılan araştırmalar, genetik çeşitliliğin yüksek olduğu mısır popülasyonlarında, stres koşullarında bile **%15–30 oranında verim artışı** sağlanabileceğini ortaya koymuştur (FAO, 2023; Xu ve ark., 2009). Özellikle, **hibrit çeşitlerin geliştirilmesi** ve bunların stres koşullarında denenmesi sonucunda, geleneksel popülasyonlara göre **kuraklık dönemlerinde %20'ye varan daha yüksek verim değerleri** elde edildiği raporlanmıştır (Bänziger ve ark., 2006).

Modern bitki ıslahında **QTL (Quantitative Trait Loci)** haritalama ve **GWAS (Genome-Wide Association Studies)** gibi moleküler teknikler, verim ve stres toleransı ile ilişkili gen bölgelerinin tespit edilmesini mümkün kılmakta ve ıslah programlarını hızlandırmaktadır (Wallace ve ark., 2014). Örneğin,

DREB, ZmVPP1, HKT1;5, ZmNAC111 gibi genler, mısırdaki kuraklık ve tuzluluk toleransı ile ilişkili olarak tanımlanmıştır (Liu ve ark., 2013).

2.2. Karşılaşılan Temel Sorunlar

2.2.1. Genetik Daralma Riski

Yaygın olarak kullanılan yüksek verimli ticari hibrit çeşitlerin dar bir genetik temelden gelmesi, **genetik erozyona** neden olmaktadır. Bu durum, stres koşullarında popülasyonun adaptif kapasitesini düşürmektedir (van de Wiel ve ark., 2010).

2.2.2. Stres Toleransı Açığı

Modern çeşitlerin çoğu **yüksek verimli** olsa da, abiyotik stres koşullarına karşı duyarlıdır. Özellikle su kıtlığı, tuzluluk ve aşırı sıcaklık gibi faktörler, üretimde büyük kayıplara yol açabilir. Bu durum, genetik potansiyeli yüksek çeşitlerin uygun çevresel koşullar olmadan verim sağlayamamasına neden olmaktadır (Campos ve ark., 2004).

2.2.3. Yerel Genetik Kaynakların Kaybı

Türkiye’de de dahil olmak üzere birçok ülkede, yerel mısır varyeteleri yeterince korunmamakta ve gen bankalarında sınırlı şekilde temsil edilmektedir. Oysa bu yerel çeşitler, **yüksek adaptasyon kabiliyeti** ve **stres toleransı** gibi özellikler taşıyabilir (Özkan ve ark., 2005).

2.2.4. Genetik Potansiyel-Tarımsal Uygulama Uyumsuzluğu

Genetik potansiyeli yüksek çeşitler, uygun **sulama, gübreleme, toprak işleme** gibi tarımsal uygulamalarla desteklenmediğinde, beklenen verim düzeyine ulaşamamaktadır (Gowda ve ark., 2011). Bu nedenle genetik ıslah ile birlikte bütüncül tarım yönetim stratejileri geliştirilmelidir.

2.2.5. Çevresel Koşullar (Abiyotik Stres Faktörleri)

Abiyotik stres faktörleri arasında kuraklık, sıcaklık aşırılıkları, tuzluluk ve besin eksikliği yer alır (Sabagh ve ark., 2021; Sevilmiş ve ark., 2019). Bu stresler bitkilerin fizyolojik süreçlerini aksatarak gelişimini ve verimini doğrudan etkiler. Kuraklık, özellikle çiçeklenme ve tane doldurma dönemlerinde fotosentez oranlarını düşürerek, stomaların kapanmasına ve su

kaybının artmasına neden olur. Yüksek sıcaklık ise polen canlılığını ve döllenme başarısını azaltabilir. Tuzluluk, iyon toksisitesine ve ozmotik strese yol açar.

Çizelge 2. Abiyotik stres faktörlerinin mısır üzerindeki etkileri

Stres Faktörü	Etkileri
Kuraklık	Fotosentez düşer, stomalar kapanır, koçan oluşumu azalır
Aşırı sıcaklık	Polen canlılığı azalır, metabolik enzimler denatüre olur
Tuzluluk	Osmotik stres, iyon toksisitesi, kloroz ve nekroz
Besin eksikliği	Klorofil sentezi azalır, kök gelişimi zayıflar

Kaynak: Cairns ve ark, 2013

Çizelge 3. Mısırın Gelişim Aşamalarında Sıcaklık Eşik Değerleri

Gelişim Aşaması	Minimum Sıcaklık (°C)	Optimum Sıcaklık (°C)	Maksimum Sıcaklık (°C)
Çimlenme	10	20–30	35
Vejetatif Büyüme	8	25–33	38
Tasseling (Püskül)	13	25–30	36
Koçan Gelişimi	18	23–28	35
Fizyolojik Olgunluk	12	20–25	30

Kaynak: Tollenaar & Lee , 2002; Çakır, 2005

2.3. Biyotik Stres Faktörleri

Mısır bitkisi; mantar, bakteri, virüs gibi patojenler ile böcek, nematod gibi zararlılardan etkilenebilir. Biyotik stresler, bitkinin yaprak, sap, kök ve koçan gibi organlarında enfeksiyonlara ve hasara neden olur. *Fusarium* türleri kök çürüklüğüne yol açarken, *Spodoptera frugiperda* gibi zararlılar yaprakları tüketerek fotosentezi sınırlar. Biyopestisitler, entegre zararlı yönetimi (IPM) ve genetik dayanıklılık önemli çözüm yollarıdır.

Çizelge 4. Mısırdaki Biyotik Stres Etmenleri ve Etkileri

Etmen	Tür/Etken	Türkçe Adı	Etkilediği Organ	Belirti / Hasar	Zarar Miktarı (%)
Mantar	Fusarium verticillioides	Fusarium (koçan/kök/sap çürüklüğü)	Kök, sap, koçan	Çürüklük, mikotoksin üretimi	%10–30 verim kaybı, mikotoksin riski
Mantar	Stenocarpella maydis (Diplodia)	Diplodia (koçan çürüklüğü)	Koçan, sap	Koçan deformasyonu, iç boşalma	%15'e kadar kalite kaybı
Bakteri	Pantoea stewartii	Stewart solgunluğu bakterisi	İletim demetleri	Solgunluk, iletim tıkanması	%40'a kadar genç bitkilerde ölüm
Virüs	Maize dwarf mosaic virus (MDMV)	Mısır cüce mozaik virüsü	Yaprak, tüm bitki	Mozaikleşme, cüceleşme	%5–25 verim kaybı
Böcek	Spodoptera frugiperda	Amerikan askeri kurdu	Yaprak, koçan	Yaprak tüketimi, dane eksilmesi	%15–50 verim kaybı
Böcek	Spodoptera exigua	Yaprak kurdu	Yaprak	Deliklenme, fotosentez azalması	%10'a kadar fotosentez kaybı
Böcek	Sesamia nonagrioides	Sap kurdu	Sap	Sap tünelleşmesi, yatma	%5–20 verim düşüşü

Kaynak: Munkvold ve Desjardins, 1997; White, 1999; Roper ve ark., 2011; Redinbaugh ve Zambrano, 2014); Day ve ark., 2017; Ahmad ve ark., 2018; Cordero ve ark. 1998.

2.4 Tarım Uygulamaları

Mısır tarımında uygulanan tarımsal yönetim pratikleri, hem verim düzeyini hem de bitkinin çevresel streslere (kuraklık, sıcaklık, tuzluluk vb.) karşı toleransını doğrudan etkiler. Yanlış zamanlamalar, eksik ya da dengesiz uygulamalar, bitkinin fizyolojik süreçlerinde aksamalara neden olarak stres tepkilerini artırmakta ve potansiyel verimi düşürmektedir.

Sulama Yöntemi ve Zamanlaması: Uygunsuz sulama (aşırı veya yetersiz), özellikle çiçeklenme ve dane doldurma dönemlerinde ciddi verim kayıplarına yol açabilir. Aşırı sulama kök çürüklüğünü tetiklerken, su eksikliği ise fotosentez ve besin taşınımını sınırlar.

Gübreleme Şekli ve Zamanı: Yanlış gübre dozu veya yanlış zamanda uygulanan gübreler, özellikle azot fazlalığı veya eksikliği, bitkinin vegetatif-generatif dengesini bozar. Aşırı azot, yatmaya ve hastalıklara yatkınlığa neden olabilir.

Toprak İşleme: Aşırı derin sürüm, toprak yapısını bozarak su tutma kapasitesini düşürür. Yetersiz işleme ise kök gelişimi için uygun ortamı sağlayamaz, toprak sıkışıklığına neden olur.

Ekim Sıklığı ve Zamanlaması: Çok sık ekim, bitkiler arasında kaynak (ışık, su, besin) rekabetine neden olur; seyrek ekim ise toplam verimi düşürür. Geç ekimler sıcaklık stresine, erken ekimler ise çimlenme sorunlarına yol açabilir.

Çizelge 5. Mısırdaki Kültürel Uygulama Hatalarının Verim Üzerindeki Kayıpları

Uygulama Hatası	Açıklama	Tahmini Verim Kaybı (%)
Yetersiz sulama (özellikle generatif dönemde)	Kuraklık stresi, döl tutumunun düşmesi	%30–60
Aşırı sulama	Köklerde oksijen azlığı, çürüklük, yatma	%15–40
Fazla azot gübresi	Yatmaya neden olur, hastalık riski artar	%10–25
Az azot uygulaması	Kloroz, zayıf gelişim, düşük dane sayısı	%15–30
Uygunsuz toprak işleme	Kök gelişimi engellenir, toprak sıkışıklığı	%10–20
Çok sık ekim	Işık rekabeti, dane iriliği düşer	%10–25
Geç ekim	Sıcaklık stresi, döl tutumunda azalma	%15–35

Kaynak: Karam ve ark., 2003; Ali ve ark.,2009; Tollenaar ve Lee, 2006; Bänziger ve ark., 2000; Hobbs ve ark., 2008; Sangoi, 2001; Otegui ve ark., 1995

3. YENİLİKÇİ GENETİK VE MOLEKÜLER YAKLAŞIMLAR

3.1. CRISPR/Cas9 ve Genom Düzenleme

CRISPR/Cas9, genetik materyal üzerinde hedefe yönelik ve kontrollü değişiklik yapılmasına olanak tanıyan ileri düzey bir genom düzenleme teknolojisidir. Bu sistem, bakteriyel bir savunma mekanizmasından türetilmiş olup, DNA dizisinde belirli bir bölgeyi kesip düzenlemeyi sağlar.

CRISPR/Cas9 teknolojisi, mısır bitkisinde abiotik streslere (kuraklık, tuzluluk) karşı direnç geliştirme amacıyla yaygın biçimde kullanılmaktadır.

3.1.1. Avantajları:

- Çok hızlıdır: Geleneksel ıslah yöntemlerine göre %70'e varan zaman tasarrufu sağlar.
- Hedef özgüllüğü yüksektir. Aynı anda birden fazla gen (multi-gene editing) düzenlenebilir.
- DNA dizisine minimum dış genetik yük bindirilir.

3.1.2. Verime ve Stres Toleransına Katkısı:

Literatürde yapılan çalışmalara göre, CRISPR/Cas9 uygulamalarıyla kuraklık stresine karşı %20–25'e kadar verim artışı sağlanmıştır (Chen ve ark., 2019; Gao, 2021).

Stres altındaki fizyolojik parametrelerde (prolin artışı, fotosentetik verimlilik, su kullanım etkinliği) anlamlı iyileşmeler gözlenmiştir

Çizelge 6. CRISPR/Cas9 ile düzenlenen bazı genler ve etkileri

Hedef Gen	Düzenlenen Özellik	Verim Artışı (%)
DREB2A	Kuraklık toleransı	18
HSP70	Isı toleransı	14
NHX1	Tuzluluk toleransı	20
WRKY1	Genel stres yanıtı	12

Kaynak: Qin ve ark., 2007); Wang ve ark., 2014); Zhang ve ark., 2001; Rushton ve ark., 2010

3.2. Omiks Teknolojileri

"Omics" terimi, biyolojik sistemlerde bütünsel analizler anlamına gelir:

- Genomics (Genomik) – DNA düzeyinde analiz
- Proteomics (Proteomik) – Protein düzeyinde analiz
- Metabolomics (Metabolomik) – Metabolit düzeyinde analiz
- Transcriptomics (Transkriptomik) – RNA düzeyinde analiz

Omiks teknolojileri, mısırın stres altında gösterdiği çok katmanlı biyolojik yanıtların çözülmesinde büyük rol oynar. Özellikle transkriptomik (RNA-Seq), epigenomik (DNA metilasyonu), metabolomik ve proteomik analizler; mısırın strese verdiği yanıtları anlamada anahtar rol oynamaktadır.

RNA-Seq uygulamalarıyla, kuraklık sırasında ekspresyonu artan genler belirlenerek bu genler ıslah çalışmalarına entegre edilebilmektedir. Metabolomik veriler ise stres sırasında artan prolin, glisin betain ve antioksidan bileşiklerin profillenmesini sağlar.

- Uygulamada Kullanılan Teknolojiler
- RNA-Seq (Transkriptomik için)
- LC-MS/MS (Metabolomik ve proteomik analizler için)

- QTL Mapping ve GWAS (Genome-Wide Association Studies) (Genomik için)
- UAV + Multispektral kamera sistemleri (Fenomik için)

Çizelge 7. Mısırdaki Verim Artışına Yönelik OMİKS Teknolojileri ve Uygulama Örnekleri

OMICS Teknolojisi	Açıklama	Mısırdaki Uygulama Örneği
Genomik	DNA düzeyinde gen haritalama ve gen tanımlama teknolojileridir.	MaizeGDB veri tabanı üzerinden yapılan genomik analizlerde, verimle ilişkili QTL'ler (Quantitative Trait Loci) tanımlanmıştır. Örnek Gen: ZmCCT, mısırdaki fotoperiyot duyarlılığı ve çiçeklenme zamanlamasını kontrol eder.
Transkriptomik	Bitkinin stres, gelişim veya çevresel faktörlere verdiği yanıtlarda RNA ekspresyonunu analiz eder.	Kuraklık stresine maruz kalan mısırlarda yapılan RNA-seq analizlerinde DREB, NAC, WRKY gibi transkripsiyon faktörlerinin stres altında aktifleştiği gösterilmiştir.
Proteomik	Hücre içinde sentezlenen proteinlerin yapısını, miktarını ve fonksiyonunu analiz eder.	Su stresine dayanıklı mısır çeşitlerinde, HSP (Heat Shock Proteins), antioksidant enzimler (SOD, CAT) gibi proteinler yüksek düzeyde ifade edilmiştir.

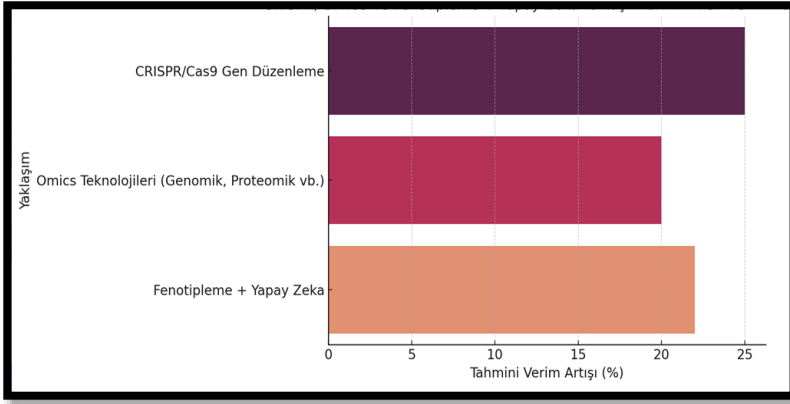
Metabolomik	Bitkideki tüm metabolitlerin analizi yapılır; stres koşullarında oluşan biyokimyasal değişimleri ortaya koyar.	Tuz stresi altında mısır köklerinde prolin, betain, trehaloz gibi osmolitlerin arttığı metabolomik analizlerle gösterilmiştir.
Fenomik	Bitki fenotipinin (morfolojik, fizyolojik, agronomik özellikler) yüksek verili sistemlerle izlenmesidir.	Drone ve hyperspektral görüntüleme ile mısırın NDVI, biyokütle, yaprak alanı gibi özellikleri ölçülerek stres toleransı değerlendirilir.

3.3. Fenotipleme ve Yapay Zeka Destekli Analizler

Yüksek çözünürlüklü görüntüleme sistemleri (örneğin multispektral ve hyperspektral kameralar), mısır bitkisinin morfolojik ve fizyolojik özelliklerini detaylı şekilde analiz etmeyi mümkün kılar. Bu veriler, yapay zeka algoritmaları ile birleştirilerek bitkinin stres altındaki fenotipik tepkileri erken dönemde tespit edilebilir. Makine öğrenmesi ve görüntü işleme teknikleri, özellikle tarla koşullarında büyük ölçekte tarama yapmayı ve verim potansiyeli yüksek bireylerin belirlenmesini sağlar. Bu sistemler, hassas tarım uygulamalarına entegre edilerek karar destek sistemlerini güçlendirir.

Çizelge 8. Mısırdaki Yapay Zeka Destekli Bazı Fenotiplendirme Uygulamaları

Uygulama Adı	Amaç	Kullanılan Teknoloji	Elde Edilen Katkı / Sonuç
1. FieldScanner (Nebraska Üniversitesi)	Bitkisel gelişimi, çiçeklenme zamanını ve su stresini izleme	Multispektral kamera, LIDAR, RGB kamera + ML algoritmaları	Stres toleransı yüksek genotiplerin tarlada erken dönemde ayrılması
2. LemnaTec PhenoBot & PlantEye	Yaprak açısı, bitki yüksekliği, gövde kalınlığı gibi özelliklerin ölçümü	Otonom tarayıcı robot + 3D lazer + hiperspektral kamera	Bitki gelişiminin hassas izlenmesi ve otomatik veri toplama
3. Derin Öğrenme ile Hastalık Tanı (Corn Leaf Blight)	Mısır yaprak hastalıklarını hızlı teşhis etme	CNN (Convolutional Neural Networks), açık kaynak görüntüler	>%95 doğrulukla yaprak hastalığı sınıflandırması
4. Drone Tabanlı NDVI & Termal Görüntüleme	Bitkideki su stresini izleme ve sulama planlaması	NDVI sensörlü drone, termal kamera, görüntü işleme	Sulama suyu yönetiminde optimizasyon ve verim kaybının azaltılması
5. CIMMYT GeoML AI Tabanlı Seçim	Lokasyona özgü yüksek verimli çeşitlerin seçimi	Genotip + çevresel veri + ensemble AI modelleri (XGBoost, RF)	Yerel koşullara uygun mısır çeşitlerinin belirlenmesi



Şekil 5. CRISPR/Cas9 Gen Düzenleme, Omics Teknolojileri ve Fenotipleme + Yapay Zeka Yaklaşımlarının Mısır Verimine Tahmini Katkısı (%) (Chen ve ark., 2019; Gao, 2021; Zhang ve ark., 2017; Wang ve ark., 2020; Khosla ve ark., 2022; Zhang ve ark., 2020)

4. BIYOTEKNOLOJİK VE MİKROBİYAL YAKLAŞIMLAR

4.1. Transgenik Mısır Çeşitleri

Transgenik mısır, rekombinant DNA teknolojisi kullanılarak geliştirilen ve zararlılara veya herbisitlere dirençli genleri taşıyan çeşitlerden oluşur.

En yaygın örneklerden biri olan Bt mısır, *Bacillus thuringiensis*'ten izole edilen Cry1Ab genini taşır. Bu genin kodladığı toksin, zararlı böceklerin bağırsak hücrelerinde iyon dengesini bozarak hücre ölümüne neden olur (James, 2022). Bir diğer transgenik örnek olan Roundup Ready mısır, *Agrobacterium* kaynaklı mutasyona uğratılmış EPSPS genini içerir. Bu gen, glifosat herbisitine karşı tolerans sağlayarak şikimat yoluyla aromatik amino asit üretimini engellemeden sürdürür (Lobell ve ark., 2011).

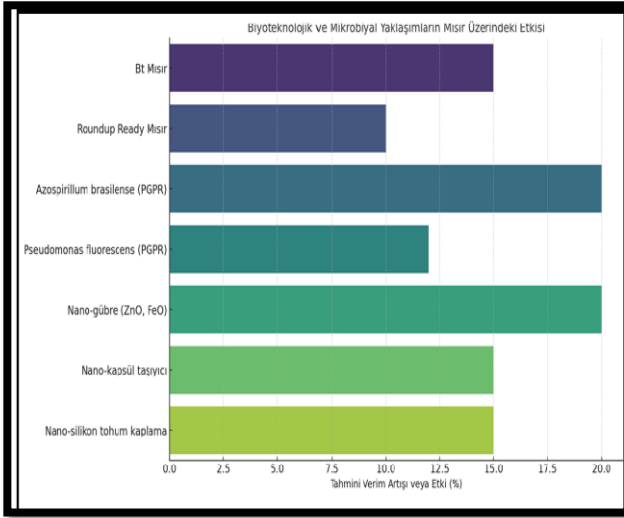
4.2. Bitki Büyümesini Teşvik Eden Rizobakteriler (PGPR)

PGPR'ler (Plant Growth Promoting Rhizobacteria), rizosferde yaşayan ve bitki gelişimini destekleyen yararlı mikroorganizmalardır. Örneğin *Azospirillum brasilense*, azot fiksasyonu ve indol-3-asetik asit (IAA) üretimi sayesinde kök büyümesini ve mineral alımını artırır (Vessey, 2003). Bazı

PGPR'ler, çevresel stres altındaki bitkilerde ACC deaminaz enzimi üretir. Bu enzim, strese bağlı etilen üretimini azaltarak bitki büyümesini sürdürmesini sağlar (Glick, 2012). *Pseudomonas fluorescens* gibi türler siderofor ve antibiyotik üretimi sayesinde kök patojenlerini baskılar, özellikle tuzlu topraklarda bitki performansını artırır (Yercan ve ark., 2020).

4.3. Nano-Teknoloji Uygulamaları

Nanoteknoloji, bitkilerde mikro- ve makro besin maddelerinin nanopartikül formda uygulanmasını içerir. Nanoformülasyonlar (ZnO, FeO gibi), daha yüksek yüzey alanına sahip oldukları için daha iyi absorbe edilirler ve daha düşük dozlarla yüksek etkinlik sağlarlar (Prasad ve ark., 2017). Örneğin nano-kapsül sistemleri, bitki büyüme düzenleyicilerini veya pestisitleri çevre koşullarına duyarlı biçimde kontrollü olarak salar. Ayrıca nano-silikon kaplamalı tohumlar, çimlenme oranını artırır ve su stresine karşı dayanıklılığı geliştirir (Karabulut ve ark., 2022). Bu tür kaplamalar, bitkinin antioksidan sistemlerini (SOD, CAT, APX) aktive ederek oksidatif stresi baskılar (Zhao ve ark., 2019).



Şekil 6. Biyoteknolojik ve Mikrobiyal Yaklaşımların Mısır Verimi Üzerindeki Etkisi (Derlenmiştir: Bt Mısır ve Roundup Ready Mısır (James, 2010); *Azospirillum brasilense* ve *Pseudomonas fluorescens* (Vessey, 2003; Dobbelaere ve ark., 2001); Nano-gübre ve nano-kapsül uygulamaları (Raliya ve ark., 2015; Naderi & Danesh-Shahraki, 2013); Nano-silikon kaplama (Suriyaprabha ve ark., 2012)).

5. HASSAS TARIM VE DİJİTAL UYGULAMALAR

5.1. Uzaktan Algılama ve Sensör Teknolojileri

Hassas tarımın kalbinde yer alan NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) yanında, EVI (Enhanced Vegetation Index) ve PRI (Photochemical Reflectance Index) gibi yeni spektral indeksler de kullanılmaktadır. Bu indeksler, özellikle stresin erken tespitinde ve yaprak pigment değişikliklerinin izlenmesinde etkilidir.

Yapay zeka destekli algoritmalar (örneğin derin öğrenme modelleri), bu verileri işleyerek mısırın su ihtiyacı, gübre eksikliği veya hastalık tehdidi gibi durumları tahmin edebilmektedir (Çalışkan, 2022).

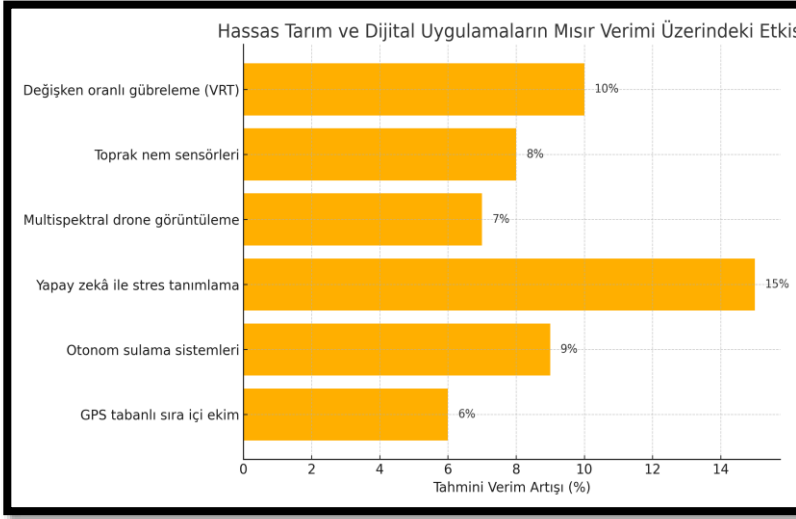
5.2. Hassas Tarım ve Dijital Uygulamalar

5.2.1. Değişken Oranlı Gübreleme ve NDVI Haritaları

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index - Normalize Edilmiş Bitki Fark İndeksi), bitki örtüsünün yoğunluğu ve canlılığını belirlemek için uydu ya da drone görüntülerinden elde edilen verilerle oluşturulan bir göstergedir. Bu haritalar, mısır tarlalarında farklı bölgelerin biyokütle seviyelerine göre gübreleme planlarının değişken oranlı olarak uygulanmasını sağlar.

Haritada yeşil alanlar yüksek biyokütleyle sahip bölgeleri, kırmızı alanlar ise düşük biyokütleli, stres altında olan bölgeleri gösterir. Değişken oranlı gübreleme sistemleri, bu bilgilere dayanarak daha fazla gübreye ihtiyaç duyulan alanlara daha yüksek dozda uygulama yaparken, sağlıklı bölgelerde gübre kullanımını azaltarak çevresel etkileri ve maliyetleri düşürür.

Yapay zeka tabanlı modeller, mısır üreticilerine ekim zamanı, sulama programı ve hastalık yönetimi konularında öneriler sunar. Bu sistemler, büyük veri analizleri ile daha isabetli kararlar alınmasını sağlar



Şekil 7. Hassas Tarım ve Dijital Uygulamaların Mısır Verimi Üzerindeki Etkisi (Derlenmiştir: VRT ve GPS tabanlı uygulamalar (Gebbers & Adamchuk, 2010); Toprak nem sensörleri ve otonom sulama (Jones, 2004; Kim ve ark., 2008); Multispektral drone görüntüleme (Hunt ve ark., 2010); Yapay zekâ ile stres tanımlama (Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018)).

6. ISLAH VE GENETİK GELİŞTİRME STRATEJİLERİ

6.1. Marker Destekli Seleksiyon (MAS)

Marker Destekli Seleksiyon (MAS), bitki ıslahında hedef özelliklerin genetik belirteçler (markırlar) yoluyla takip edilmesini sağlayan güçlü bir biyoteknolojik araçtır. Bu yöntemle, bir bitkinin fenotipine (gözle görülür özelliğine) bakılmaksızın, DNA düzeyinde aranan özellikleri taşıyıp taşımadığı tespit edilebilir.

6.1.1. Temel Mekanizma:

MAS yönteminde SNP (Single Nucleotide Polymorphism) gibi moleküler belirteçler, istenen agronomik özelliklerle (kuraklık toleransı, tuzluluk dayanıklılığı, hastalık direnci vb.) bağlantılı gen bölgeleriyle ilişkilendirilir.

Örneğin:

- DREB1A geni → kuraklık toleransında rol oynayan transkripsiyon faktörünü kodlar.

- ZmNHX1 geni → hücre içi iyon dengesini düzenleyen bir Na⁺/H⁺ antiporteridir, tuzluluğa dayanıklılık sağlar.

6.1.2. MAS'ın Avantajları

- Geleneksel fenotipik seleksiyona göre çok daha hızlıdır (yıl yerine haftalar sürebilir).
- Kuraklık, tuzluluk gibi karmaşık özelliklerin erken aşamada taranmasını sağlar.
- Tarla koşullarında görülmeyen ama genetik olarak mevcut özellikler tespit edilebilir.

6.2. Genomik Seleksiyon (GS)

Genomik Seleksiyon (Genomic Selection - GS), klasik marker destekli seleksiyon (MAS) yönteminden farklı olarak sadece birkaç değil, tüm genom çapında binlerce belirtecin kullanıldığı gelişmiş bir ıslah stratejisidir. Bu yöntemde, fenotipik gözlem yapmadan bireyin genetik potansiyeli, genotip verileri ve istatistiksel modeller yardımıyla tahmin edilir.

6.2.1. Bilimsel Temel:

GS, yüksek yoğunluklu genotipleme platformları (ör. SNP panelleri, NGS teknolojileri) ve istatistiksel tahmin modelleri ile çalışır. Fenotipik verilerle birlikte oluşturulan eğitim seti, binlerce markerden elde edilen genotipik bilgilerle ilişkilendirilir. Eğitim setinden elde edilen model, fenotipi bilinmeyen yeni bireylerin genetik değerini (GEBV) tahmin eder.

6.2.2. Kullanılan Tahmin Modelleri:

- GBLUP (Genomic Best Linear Unbiased Prediction) → En yaygın modeldir. Genomik ilişki matrisine dayalı olarak tahmin yapılır.
- Bayesian Lasso / BayesC π / BayesB → Marker etkilerinin dağılımı üzerine bayesyen varsayımlara dayalı modellerdir. Özellikle kompleks özellikler için uygundur.

- DeepGS (Deep Genomic Selection)→ Derin öğrenme algoritmaları (ör. yapay sinir ağları, CNN) kullanılarak marker verilerinden fenotip tahmini yapılır (Ma ve ark., 2018).

6.2.3. Avantajları:

- Zaman kazancı: Fenotiplenmeden önce yüksek doğrulukta seçim yapılabilir.
- Poligenik özellikler: Verim, stres toleransı gibi çoklu gen kontrolündeki özelliklerde etkilidir.
- Yapay zekâ entegrasyonu: Derin öğrenme modelleri karmaşık etkileşimleri tanıyabilir.

6.3. Çift Haploid Teknolojisi

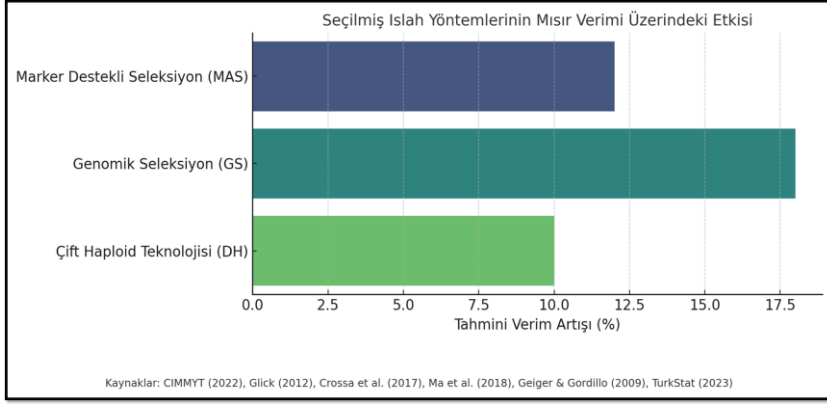
Çift Haploid (DH) teknolojisi, bir bitkinin genomunu hızlıca tamamen homozigot hale getirmeyi sağlayan modern bir ıslah yöntemidir. Geleneksel ıslah yöntemlerinde saf hat oluşturmak 6–8 nesil sürebilirken, DH teknolojisiyle bu işlem bir veya iki nesilde tamamlanabilir. Bu sayede ıslah süresi önemli ölçüde kısalır ve genetik sabitlik sağlanır.

6.3.1. Bilimsel Temel:

Haploid bireyler, normal diploid ($2n$) kromozom setinin yarısını (n) taşır. Bu haploid bireyler, kimyasal veya fiziksel yöntemlerle kromozom sayılarını iki katına çıkararak çift haploid ($2n$) hale getirilir. Böylece her lokusta aynı alleli taşıyan, tam saf (homozigot) bireyler elde edilir.

Avantajları:

- **Saf hatlar** birkaç ay içinde elde edilir (6–8 yıl yerine).
- **Genetik sabitlik** çok daha hızlı ve güvenilir biçimde sağlanır.
- **GS (Genomik Seleksiyon)** ve **MAS** ile birleştirildiğinde hibrit ıslahı büyük ölçüde hızlanır.



Şekil 8. Seçilmiş Islah Yöntemlerinin Mısır Verimi Üzerindeki Etkisi (CIMMYT, 2022; Glick, 2012; Crossa ve ark., 2017; Ma ve ark., 2018; Geiger ve Gordillo, 2009; TurkStat, 2023)

7. GELECEK PERSPEKTİFLERİ VE ÖNERİLER

7.1. Sentetik Biyoloji: Geleceğin Genetik Mühendisliği

Sentetik biyoloji, klasik genetik mühendisliğin ötesine geçerek, bitkilere özgü olmayan ancak stres yönetiminde etkili olan genetik devrelerin yeniden tasarlanmasına olanak tanımaktadır. Gelecekte mısır bitkisine özel olarak geliştirilecek yapay promotörler, sensör-yanıt genetik modüller ve yeni metabolik yollar sayesinde çevresel streslere karşı “akıllı” yanıt mekanizmaları oluşturulabilecektir.

Öngörülen Uygulamalar:

- Kuraklık ve tuzluluk gibi abiyotik streslerde devreye giren programlanabilir genetik sistemlerin kullanımı,
- Bitki gelişiminde hassas moleküler saatlerin devreye alınarak kritik dönemlerde maksimum verim sağlanması,
- Fotosentez kapasitesini artıracak CO₂ yakalama mekanizmalarının optimize edilmesi.

Bu gelişmeler, özellikle CRISPR tabanlı sentetik regülasyon sistemlerinin geliştirilmesiyle desteklenmektedir (Liu & Stewart, 2018).

7.2. Mikrobiyom Mühendisliği ve Rizosfer Yönetimi

Bitkilerin kök bölgesinde yer alan mikrobiyal topluluklar (rizosfer mikrobiyotası), bitkinin streslere karşı dayanıklılığı ve besin alım kapasitesi üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Gelecekte bu toplulukların hassas mühendislik yaklaşımları ile yönetilmesi, hem biyotik hem de abiyotik stres toleransının artırılmasında stratejik bir araç olacaktır.

Beklenen Gelişmeler:

- Mısır genotipine özgü kişiselleştirilmiş mikrobiyal inokulumların geliştirilmesi,
- Bitkinin ihtiyaçlarına göre dinamik olarak değişebilen adaptif mikrobiyom sistemlerinin kurulması,
- Biyosensör taşıyan rizobakteriler aracılığıyla kök bölgesinde erken stres algılamasının sağlanması.

Mikrobiyom mühendisliği, bitki-mikroorganizma sinyal yollarının daha iyi anlaşılmasıyla önemli ilerlemeler kaydedecektir (Vessey, 2003).

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Mısır (*Zea mays* L.) bitkisinde verim artışı ve çevresel stres koşullarına karşı dayanıklılığın geliştirilmesi, küresel iklim değişikliği ve artan gıda talebi bağlamında stratejik bir öneme sahiptir. Bu hedefe ulaşmak, yalnızca geleneksel ıslah yöntemleriyle değil, aynı zamanda genetik, biyoteknolojik, mikrobiyal ve dijital teknolojilerin entegre biçimde kullanılmasıyla mümkün olacaktır. Genom düzenleme teknikleri, stres toleransı ile ilişkili gen bölgelerinin düzenlenmesini sağlarken, yerel genotiplerin korunarak geliştirilmesi sürdürülebilir bir ıslah sürecine katkı sunmaktadır. Mikrobiyal uygulamalar, özellikle fosfor çözünürlüğü, azot fiksasyonu ve su stresine dayanıklılıkla ilgili alanlarda mısırın çevresel adaptasyonunu artırmakta etkili olmaktadır.

Bununla birlikte, dijital tarım uygulamaları sayesinde, mısır tarlalarında bitki gelişim durumu, su ve besin eksiklikleri ile hastalık riskleri erken dönemde tespit edilerek, verim kayıpları azaltılabilmektedir. Uzaktan algılama, sensör teknolojileri ve yapay zeka temelli analizler ile üretim süreçleri daha verimli, daha düşük maliyetli ve daha çevreci hale getirilebilmektedir. Bu teknolojilerin yaygınlaşması, çiftçilerin bilgiye ve teknolojiye erişimi ile doğrudan ilişkilidir.

Gelecekte, bu çok boyutlu teknolojilerin bir arada değerlendirildiği entegre stratejiler sayesinde, Türkiye'de mısır üretimi hem verim hem de kalite açısından daha rekabetçi bir düzeye ulaşabilecektir. Bu bağlamda, ulusal düzeyde stres toleransına yönelik ıslah programlarının desteklenmesi, biyogübre kullanımının teşvik edilmesi, dijital tarım uygulamalarının yaygınlaştırılması ve çiftçilerin bu yeniliklere adapte olabilmesi için bilgi transferinin artırılması büyük önem taşımaktadır. Tüm bu çabalar, hem tarımsal sürdürülebilirliği sağlamak hem de mısır bitkisini geleceğin iklim koşullarına hazırlamak adına kritik rol oynayacaktır.

9. KAYNAKÇA

- Ali, R., Yazar, A., & Tekin, S. (2009). Effects of different irrigation regimes on the yield and quality of sweet corn. *Agricultural Water Management*, 96(5), 798–806.
- Bänziger, M., Edmeades, G. O., Beck, D., & Bellon, M. (2000). Breeding for drought and nitrogen stress tolerance in maize: From theory to practice. CIMMYT.
- Bänziger, M., Setimela, P. S., Hodson, D., & Vivek, B. (2006). Breeding for improved drought tolerance in maize adapted to southern Africa. *Agricultural Water Management*, 80(1–3), 212–224.
- Cairns, J. E., Hellin, J., Sonder, K., Araus, J. L., MacRobert, J. F., Thierfelder, C., & Prasanna, B. M. (2013). Adapting maize production to climate change in sub-Saharan Africa. *Food Security*, 5(3), 345–360.
- Çalışkan, M. E. (2022). Türkiye’de akıllı tarım uygulamaları. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 28(2), 211–225.
- Campos, H., Cooper, M., Habben, J. E., Edmeades, G. O., & Schussler, J. R. (2004). Improving drought tolerance in maize: A view from industry. *Field Crops Research*, 90(1), 19–34.
- Chen, K., & Gao, C. (2019). Targeted genome modification technologies and their applications in crop improvement. *Plant Cell Reports*, 38(4), 447–457.
- CIMMYT. (2020). Maize and climate resilience. International Maize and Wheat Improvement Center.
- FAO. (2023). FAOSTAT – World Food and Agriculture Statistical Database.
- Gebbers, R., & Adamchuk, V. I. (2010). Precision agriculture and food security. *Science*, 327(5967), 828–831.
- Glick, B. R. (2012). Plant growth-promoting bacteria: Mechanisms and applications. *Scientifica*, 2012.
- Gowda, M., Das, B., Makumbi, D., Babu, R., Semagn, K., Mahuku, G., ... & Prasanna, B. M. (2011). Genome-wide association and genomic prediction of resistance to maize lethal necrosis disease in tropical maize germplasm. *Theoretical and Applied Genetics*, 124(5), 963–975.
- James, C. (2010). Global status of commercialized biotech/GM crops: 2010. ISAAA Brief No. 42.

- James, C. (2022). Biotech crop annual updates. ISAAA.
- Jones, H. G. (2004). Irrigation scheduling: Advantages and pitfalls of plant-based methods. *Journal of Experimental Botany*, 55(407), 2427–2436.
- Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 70–90.
- Karabulut, O., Yıldız, T., & Kaya, M. (2022). Nanoteknolojinin tarımda kullanımı. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 28(1), 99–112.
- Kim, Y., Evans, R. G., & Iversen, W. M. (2008). Remote sensing and control of an irrigation system using a distributed wireless sensor network. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 57(7), 1379–1387.
- Liu, H., & Stewart, C. N. (2018). Plant synthetic biology. *Trends in Plant Science*, 20(5), 309–317.
- Liu, X., Wang, X., & Wang, X. (2013). DREB transcription factors in plant abiotic stress tolerance. *Biotechnology Letters*, 35, 1831–1842.
- Lobell, D. B., Cassman, K. G., & Field, C. B. (2011). Crop yield gaps: Their importance, magnitudes, and causes. *Annual Review of Environment and Resources*, 36, 179–204.
- Ma, W., Qiu, Z., Song, J., Li, J., Cheng, Q., Zhai, J., ... & Ma, C. (2018). A deep convolutional neural network approach for predicting phenotypes from genotypes. *Planta*, 248(5), 1307–1318.
- Naderi, M. R., & Danesh-Shahraki, A. (2013). Nanofertilizers and their roles in sustainable agriculture. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5(19), 2229–2232.
- Özkan, H., Gazioğlu, S., & Koyuncu, F. (2005). Türkiye mısır genetik kaynaklarının değerlendirilmesi. *Bitkisel Araştırmalar Dergisi*, 12(1), 45–53.
- Prasad, R., Bhattacharyya, A., & Nguyen, Q. D. (2017). Nanotechnology in sustainable agriculture: Present concerns and future aspects. *African Journal of Biotechnology*, 16(12), 608–613.
- Prasanna, B. M., Cairns, J. E., Zaidi, P. H., Beyene, Y., Makumbi, D., Gowda, M., ... & Nair, S. K. (2021). Beat the stress: Breeding for climate resilience in maize for tropical rainfed environments. *Theoretical and Applied Genetics*, 134, 1729–1752.

- Qin, F., Sakuma, Y., Tran, L. S. P., Maruyama, K., Kidokoro, S., Fujita, Y. & Yamaguchi-Shinozaki, K. (2007). Arabidopsis DREB2A interacts with ABF2 to regulate stress-responsive genes under drought stress. *Plant Cell*, 19(5), 1665–1680.
- Raliya, R., Nair, R., Chavalmane, S., Wang, W.-N., & Biswas, P. (2015). Mechanistic evaluation of translocation and physiological impact of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles on tomato plants. *Metallomics*, 7(12), 1584–1594.
- Ray, D. K., Mueller, N. D., West, P. C., & Foley, J. A. (2013). Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. *PLoS ONE*, 8, e66428.
- Rushton, P. J., Somssich, I. E., Ringler, P., & Shen, Q. J. (2010). WRKY transcription factors. *Trends in Plant Science*, 15(5), 247–258.
- Sabagh, A., Çiğ, F., Seydoşoğlu, S., Battaglia, M. L., Javed, T., Iqbal, M. A., & Awad, M. (2021). Salinity stress in maize: effects of stress and recent developments of tolerance for improvement. *Cereal Grains* 1, 213.
- Sevilmiş, U., Bilgili, M. E., Barut, H., Seydoşoğlu, S., & Sevilmiş, D. (2019). Yapraktan Uygulanan Kaolinin Işık Sıcaklık ve Biyotik Strese Etkisi. *Uluslararası Anadolu Ziraat Mühendisliği Bilimleri Dergisi*, 1(3), 27-36.
- Seydoşoğlu, S., & Basbag, M. (2025). Quality and mineral elements contents of *Trifolium* spp. ecotypes collected from Eastern Anatolia (Türkiye). *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 39(1), 159-169.
- Seydosoglu, S., Cacan, E., & Kokten, K. (2025). Determination of yield and quality characteristics of local alfalfa genotypes cultivated in semi-arid conditions of Türkiye. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 38(1), 35-42.
- Suriyaprabha, R., Karunakaran, G., Yuvakkumar, R., Rajendran, V., & Kannan, N. (2012). Silicon nanofertilizer for improving rice productivity. *Journal of Nanoparticle Research*, 14, 1294.
- TÜİK. (2025). Bitkisel Üretim İstatistikleri. <https://www.tuik.gov.tr>
- USDA. (2023). World Agricultural Supply and Demand Estimates. <https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/wasde0525v2.pdf>

- Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255(2), 571–586.
- Wallace, J. G., Larsson, S. J., & Buckler, E. S. (2014). Entering the second century of maize quantitative genetics. *Heredity*, 112(1), 30–38.
- Wang, W., Vinocur, B., & Altman, A. (2014). Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: Towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta*, 218, 1–14.
- Xu, Y., Li, P., Yang, Z., & Xu, C. (2009). Genetic mapping of quantitative trait loci in crops. *The Crop Journal*, 1(1), 3–16.
- Yercan, M., Kocabaş, Z., & Karabulut, E. (2020). Türkiye’de biyo-gübre kullanımının yaygınlaştırılması üzerine bir değerlendirme. *Tarımsal Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 62, 35–47.
- Zampieri, M., Ceglar, A., Dentener, F., & Toreti, A. (2017). Wheat yield loss attributable to heat waves, drought and water excess. *Environmental Research Letters*, 12, 064008.
- Zhang, H. X., & Blumwald, E. (2001). Transgenic salt-tolerant tomato plants accumulate salt in foliage but not in fruit. *Nature Biotechnology*, 19(8), 765–768.
- Zhao, L., Sun, Y., Hernandez-Viezcas, J. A., Hong, J., Majumdar, S., Niu, G., ... & Gardea-Torresdey, J. L. (2019). Monitoring the fate of ZnO nanoparticles in soil and wheat plants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(49), 12075–12082.

BÖLÜM 8

TOPRAKSIZ ORTAMDA BESİN ÇÖZELTİSİ HAZIRLANIŞI VE ÖNEMİ

Doç. Dr. Turgay KABAY¹

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.17969628>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye. Orcid no: <https://orcid.org/0000-0002-3239-0037>

*Sorumlu Yazar: turgaykabay@gmail.com

Giriş

Topraksız tarım, toprak dışındaki ortamlarda bitki üretmektir. Bu ortamlar, katı orta ve su kültürü (hidroponik) olmak üzere ikiye ayrılır. Topraksız tarımda hangi üretim kültürü kullanılırsa kullanılsın, toprakta bulunan besin maddelerini bitkilere vermek gerekir.

Bitki besin elementi hazırlanırken kullanılacak suyun kalitesi çok önemlidir. Besin çözeltisi hazırlanırken, çeşme suyu, arıtılmış su, kuyu, artezyen veya temiz kaynak suları da analizler sonucu kullanılır.

Besin Çözeltisinde Su

Besin çözeltisi hazırlamada suyun temiz ve bitkiler için gerekli oksijen oranının bulunması gerekir. Özellikle kuyu suyu, artezyenden çıkan su veya musluktan akan suların oksijen oranının artırılması için bir havuzda dinlendirilmesi gerekir. Bu dinlenen suyun kireç ve tuz oranları da bitkiler için zarar verici düzeyde olmamalıdır. Bu suların kullanılmadan önce saf su cihazından veya ev ve iş yerlerinde kullanılan su arıtma cihazlarından geçirilmesi, topraksız tarımda sağlıklı bitki üretimi için önemlidir. Çünkü musluktan akan su, şehir şebeke suyu olduğu için, klorlamalarda üretim için sıkıntı olur. Bunun dışında arsenik gibi ağır metallerde bitkisel üretimde olumsuz etki yapabilir. Bu nedenle, kuyu, artezyen ve musluktan akan suların dinlendirildikten sonra su arıtma cihazından geçirilmesi gerekir. Su arıtma cihazından geçen suda, arsenik gibi ağır metaller, tuz, kireç ve klor oranları azaldığı için bitkilere zararları da azalmaktadır. Arıtma sonucunda, su içindeki minerallerin oranı da azalmaktadır. Ancak besin çözeltisi hazırlanırken makro ve mikro besin elementleri kullanıldığı için bitkilerde, beslenme açısından bir sıkıntı oluşmamaktadır (Zabunoğlu ve Karaçal 1992; Sevgican, 1999; Kempen ve ark. 2017; Macwan ve ark. 2020; Urrestarazu Gavilan ve ark. 2023).

Akarsu, yağmur suları veya DSİ kanallarından gelen suların, taşınması esnasında çevredeki olumsuz etmenlerden etkilenmektedir. Kanal ve akarsularda, çevreden tarım ilaçları, deterjan, evsel atıkların bulaşma ihtimali yüksektir. Yağmur sularında ise, yağdığı anda havada bulunan, gaz, ağır metaller (arabaların egzoz, fabrika v.b.) ve çevredeki mikroorganizmaların bulaşma ihtimali yüksektir. Bu nedenle bu suların, besin çözeltisi hazırlamada kullanılmaması gerekir. Kullanma zorunlu ise bu suların, mutlaka bir dinlenme havuzunda dinlendirildikten sonra, mutlaka su arıtma cihazından geçirilmelidir.

Topraksız tarımda, besin çözeltisi hazırlanmadan önce suyun pH değeri, 5-7 arasında ve EC değeri de 0-0.5 mS/cm olması istenen özelliktir. Saf su cihazından alınan suyun EC değeri 0 mS/cm çıkarken, su arıtma cihazlarında ise 5-8 mS/cm ve musluk suyunun EC değeri ise 30-45 mS/cm çıkmaktadır. Bilimsel çalışmalarda ve ticari olarak ürün yetiştiriciliği yapılırken, saf su cihazından çıkan su veya arıtma cihazlarından iki kez geçirilmiş suyun kullanılması sağlıklı üretim için çok önemlidir. Bu su besin çözeltisi yapımında kullanıldıktan sonra pH değeri ve EC değeri üretim yapılacak bitki için ayarlanmalıdır.

Topraksız Tarımda Besin Elementi ve Hesaplanması

Topraksız tarımda, bitkiler için gerekli olan makro ve mikro besin elementleri, kimyasal kaynaklar kullanılarak besin çözeltisine katılır. Hazırlanan besin çözeltisi, üretimde kullanılacak besin çözeltisi oranları dikkate alınarak hazırlanır.

Bitkiler CO₂ ve besin çözeltisi alırken, fizyolojik olayların gerçekleşmesinde büyük pay sahibi olan, makro ve mikro elementlerinin dışında, C, H ve O elementlerini de alır.

Makro besin elementleri olarak, N, P, K, Ca, Mg ve S elementlerinden oluşmaktadır. Mikro besin elementleri ise B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo ve Zn elementlerinden oluşur (Zabunoğlu ve Karaçal 1992; Sevgican, 1999; Kempen ve ark. 2017; Macwan ve ark. 2020; Urrestarazu Gavilan ve ark. 2023).

Topraksız tarımda, besine elementi çözeltisi kullanıldığı için, makro ve mikro elementinin eksikliği, pek görülmemektedir. Ancak katı ortam ve su kültürlerinde, köklerin aşırı büyüyüp, yetiştirme ortamını kapatması veya besin elementinin, dolaşmasını azaltması ve yavaşlatması gibi nedenlerde, bazı topraksız tarım uygulamalarında besin elementi eksikliği görülebilir (Zabunoğlu ve Karaçal 1992; Sevgican, 1999; Kempen ve ark. 2017; Macwan ve ark. 2020; Urrestarazu Gavilan ve ark. 2023).

Azot

Azot her bitki için farklı miktarda gereklidir. Azot aminoasit ve proteinlerin yapı taşıdır. Yapraklanma ve dallanmayı artırır.

Azot yetersizliğinde, vegetatif gelişme yavaşlar, Alt yapraklarda sararma başlar, diğer yapraklarda ise ileri azot azlığında sararmalar yayılır. Azot fazlalığında ise, vegetatif gelişme artar, boğum araları uzar, kök sistemi

zayıflar, çiçeklenme ve meyve verimi düşer (Zabunoğlu ve Karaçal 1992; Sevgican, 1999; Kempen ve ark. 2017; Macwan ve ark. 2020; Urrestarazu Gavilan ve ark. 2023).

Fosfor

Bitkilerde kök sisteminin ve çiçeklenmenin gelişmesi üzerine etkilidir. Bitkilerde, hücre içinde ATP (enerji) sentezi için gereklidir.

Fosfor eksikliğinde, gelişme yavaşlar, hücrede enerji düşer, yapraklarda mor renk oluşmaya başlar, kök sistemi zayıflar ve çiçeklenme oranı düşer. Fosfor fazlalığında Fe, Zn ve Mn azalmasına neden olur (Zabunoğlu ve Karaçal 1992; Sevgican, 1999; Kempen ve ark. 2017; Macwan ve ark. 2020; Urrestarazu Gavilan ve ark. 2023).

Potasyum

Bitkilerde karbonhidratların oluşumu ve taşınması için gereklidir. Azot alımına, organik asitlerin nitrileşmesine etkilidir.

Potasyum eksikliğinde, yaşlı yaprak kenarlarında, sarı ve kahverengi leke, ileri aşamada kurumalar olarak belirir. Potasyum bitkiler tarafından zor alındığı için genellikle fazlalığı görülmez (Zabunoğlu ve Karaçal 1992; Sevgican, 1999; Kempen ve ark. 2017; Macwan ve ark. 2020; Urrestarazu Gavilan ve ark. 2023).

Kalsiyum

Enzim aktivitesi ve hücre oluşmasında rol oynar. Azot alınmasında etkilidir.

Noksanlığında yapraklarda ve sürgünlerde buruşma ve zayıf oluşumlar, yaşlı yapraklarda büzüşme ve yeni yapraklarda kapanma oluşur. Kök gelişimi zayıflar, sürgün çürümeleri oluşur, Fazlalığında, azot, fosfor, potasyum, magnezyum ve demir alınmasını azaltır (Zabunoğlu ve Karaçal 1992; Sevgican, 1999; Kempen ve ark. 2017; Macwan ve ark. 2020; Urrestarazu Gavilan ve ark. 2023).

Magnezyum

Fotosentezde rol oynar, fosfor alımını etkileyerek enerji transferinde rol oynar.

Eksikliğinde, yaprak aralarında sararma ve yaprak iletim demetleri yeşil olur. Fazlalığında potasyum ve kalsiyum eksikliği oluşur (Zabunoğlu ve Karaçal 1992; Sevgican, 1999; Kempen ve ark. 2017; Macwan ve ark. 2020; Urrestarazu Gavilan ve ark. 2023).

Kükürt

Amino asitlerin yapısında rol oynar.

Eksikliğinde, bitkilerde bodurlaşma, yapraklarda kloroz, kök ve sürgünlerde incelmeye görülür. Fazlalığı görülmemektedir (Zabunoğlu ve Karaçal 1992; Sevgican, 1999; Kempen ve ark. 2017; Macwan ve ark. 2020; Urrestarazu Gavilan ve ark. 2023).

Çinko

Bitkide enzim aktivitesinde, karbonhidrat ve şekerlerin taşınmasında, bitki besin elementi alımında etkilidir.

Fosfor fazlalığı, çinko noksanlığına sebep olabilir. Yapraklarda rozetleşme, bükülme ve sararma görülebilir. Fazlalığında, Fe ve Mn noksanlığı ortaya çıkar (Zabunoğlu ve Karaçal 1992; Sevgican, 1999; Kempen ve ark. 2017; Macwan ve ark. 2020; Urrestarazu Gavilan ve ark. 2023).

Bakır

Bakır enzim aktivitesine bulunur, enerji transferinde rol oynar.

Eksikliğinde yapraklarda sararma ve gelişmeme görülür. Meyvede gelişmeme, meyve dökümü ve sürgünlerden kök bölgesine kadar kuruma görülür. Hastalıkların kolay gelişmesine neden olur. Fazlalığında, toksik etki yapar, solma ve kloroz görülür. Bitkilerde gelişme yavaşlar (Zabunoğlu ve Karaçal 1992; Sevgican, 1999; Kempen ve ark. 2017; Macwan ve ark. 2020; Urrestarazu Gavilan ve ark. 2023).

Demir

Enzim aktivitesinde önemlidir. Fotosenteze etkilidir. Enerji transferinde rol oynar.

Fosfor fazlalığı demir noksanlığına neden olur. Genç yapraklarda, iletim demetleri yeşil ve iletim demetleri arası sararır. Fazlalığında diğer besin elementi alımını olumsuz etkile, toksik etki yapar (Zabunoğlu ve Karaçal 1992; Sevgican, 1999; Kempen ve ark. 2017; Macwan ve ark. 2020; Urrestarazu Gavilan ve ark. 2023).

Bor

Bor karbonhidrat sentezinde ve şekerlerin hücreye girmesine etkilidir. Hücre gelişmesine ve bölünmesine etkilidir.

Eksikliğinde, gelişmede yavaşlama görülür. Meyve tutumunda azalma, kök ve sürgün uçlarında RNA oranı düşer ve ölümler başlar. Bitkilerde büyümede yavaşlama ve toksik etki oluşturur, yapraklarda kıvrılma ve yanma meydana gelir (Zabunoğlu ve Karaçal 1992; Sevgican, 1999; Kempen ve ark. 2017; Macwan ve ark. 2020; Urrestarazu Gavilan ve ark. 2023).

Mangan

Klorofil, şeker ve besin maddesi oluşumunda etkilidir. Protein sentezinde etkilidir.

Eksikliğinde yaprak iletim demetleri arasında sararma meydana gelir. Yaprak saplarında siyahlaşma görülür. Fazlalığında, nekrotik lekeler görülür, Fe ve Zn eksikliğine neden olur (Zabunoğlu ve Karaçal 1992; Sevgican, 1999; Kempen ve ark. 2017; Macwan ve ark. 2020; Urrestarazu Gavilan ve ark. 2023).

Molibden

Azot fiksasyonu için gereklidir. Enzimlerin esansiyel ögesidir.

Eksikliğinde yapraklarda kıvrılma, yaprak iletim demetleri arasında kloroz görülür. Bitki ve çiçek gelişimi zayıflar (Zabunoğlu ve Karaçal 1992;

Sevgican, 1999; Kempen ve ark. 2017; Macwan ve ark. 2020; Urrestarazu Gavilan ve ark. 2023).

Klor

Fotosentez aşamasında etkili bir elementtir. Besin maddesi taşınmasında etkilidir.

Eksikliklerinde, bitkilerin gelişemediği, yapraklarda kalınlaşma görülmektedir. Fazlalığında, yaprak ucu ve kenarlarında sararma ve yanma belirtisi görülür (Zabunoğlu ve Karaçal 1992; Sevgican, 1999; Kempen ve ark. 2017; Macwan ve ark. 2020; Urrestarazu Gavilan ve ark. 2023).

Besin elementi çözeltisi hazırlamada hesaplama

Besin elementi hazırlanırken, hangi oranlarda hazırlanacağına karar vermek gerekir. Hangi bitkinin üretileceği, kullanılacak besin elementi oranlarını etkilemektedir (Sevgican, 1999; Gül 2008; Kempen ve ark. 2017; Urrestarazu Gavilan ve ark. 2023).

Çizelge 1 Makro besin elementinin kimyasal kaynakları

Makro elementin atom ağırlığı ve iyon formları	Kimyasal kaynak
N 14 NO ₃ ⁻ NH ₄ ⁺	Amonyum nitrat NH ₄ NO ₃ Kalsiyum nitrat Ca(NO ₃) ₂ Nitrik asit HNO ₃ Potasyumnitrat KNO ₃
	Amonyumnitrat NH ₄ NO ₃ Amonyum fosfat (mono) NH ₄ H ₂ PO ₄ Amonyum fosfat (di) (NH ₄) ₂ HPO ₄ Amonyum sülfat (NH ₄) ₂ SO ₄

P 31 PO_4^{-3}	Amonyum fosfat (mono) $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ Amonyum fosfat (di) $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ Potasyumfosfat (mono) KH_2PO_4 Potasyumfosfat (di) K_2HPO_4 Fosforik asit H_3PO_4
K 39 K^+	Potasyumklorür KCl Potasyumnitrat KH_2PO_4 Potasyumfosfat (di) K_2HPO_4 Potasyumfosfat (mono) KH_2PO_4 Potasyumsülfat K_2SO_4
Ca 40 Ca^{+2}	Kalsiyumklorür CaCl_2 Kalsiyumnitrat $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ Kalsiyum sülfat CaSO_4
Mg 24 Mg^{+2}	Magnezyum sülfat $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
S 32 SO_4^{-2}	Amonyum sülfat $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ Potasyumsülfat K_2SO_4 Kalsiyum sülfat CaSO_4 Magnezyum sülfat $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Çizelge 2 Mikro besin elementinin kimyasal kaynakları

Mikro elementin atom ağırlığı ve iyon formları	Kimyasal kaynak
B 11 BO_3^{-3}	Borik asit H_3BO_3
Cl 35 Cl^-	Potasyum klorür KCl
Cu 64 Cu^{+2}	Bakır sülfat $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Fe 56 Fe^{+2} Fe^{+3}	Demir Şelat Fe EDTA $[\text{CH}_2.\text{N}(\text{CH}_2\text{COO})_2]_2 \text{FeNa}^+$
Mn 55 Mn^{+2}	Mangan sülfat $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Mo 96 MoO	Amonyum molibdat $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{23} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Zn 65 Zn^{+2}	Çinko sülfat $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Besin elementi çözeltisi hazırlanırken ppm (1mg/l; 1mg/kg) olarak hazırlanır (Sevgican, 1999; Gül 2008; Kempen ve ark. 2017; Urrestarazu Gavilan ve ark. 2023).

Örnek olarak azot, fosfor ve potasyum için örnek ppm değerleri için hesaplama şekli; 150 ppm K, 200 ppm P ve 250 ppm N içerikli çözelti miktarı şöyle hesaplanır. Öncelikle kaynaklara karar vermek gerekir. Önce düşük ppm

olduğu için potasyum oranını hesaplanarak P ve N hesabına geçilir (Sevgican, 1999; Gül 2008; Kempen ve ark. 2017; Urrestarazu Gavilan ve ark. 2023)..

$$\text{KH}_2\text{PO}_4 = 39 + 2.1 + 31 + 4.16 = 39 + 2 + 31 + 64 = 136$$

$$136/39 = 3,6 \text{ mg} \quad 3,6.150 = 540 \text{ mg}$$

Bir litre suya 540 mg KH_2PO_4 katılırsa 150 ppm K olur.

150 ppm K hazırlanırken, $31.540/136 = 123.08 =$ yaklaşık olarak 123 alınır, 123 mg/l P katılmış olur.

$$200 - 123 = 77 \quad 77 \text{ ppm } \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 \text{ kaynaktan kullanılırsa;}$$

$$14 + 4.1 + 2.1 + 31 + 4.16 = 14 + 6 + 31 + 64 = 115$$

$115/31 = 3,7.77 = 284,9 \text{ mg/l}$ 1 litre suya konulursa toplam 200 ppm p elde edilir.

$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ kaynağından 284,9 mg/l P yaklaşık 285 P kullanılırken, kaç ppm N kullanılmıştır.

$285.14/115 = 34,7 \text{ mg/l}$ N kullanılmış olur. Yaklaşık olarak 35 alınır, $250 - 35 = 215 \text{ mg}$ ise NH_4NO_3 kaynağından alınır;

$$14 + 4.1 + 14 + 3.16 = 14 + 4 + 14 + 48 = 80$$

$80/14 = 5,7.215 = 1225,5 \text{ mg/l}$ NH_4NO_3 1 litre suya eklenirse 250 ppm N elde edilmiş olur. Diğer hesaplamalarda aynı yöntemle hesaplanır.

Besin çözeltisi hazırlanırken dikkat edilecek besin elementi karışımları vardır. Bunların bir arada karışmaması gerekir (Anonim 1 2025).

Kalsiyum Nitrat ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) ile Sülfat İçeren kimyasallar (MgSO_4 , K_2SO_4) ayrı hazırlanmalıdır.

Fosfat İçeren kimyasallar (KH_2PO_4) ile Kalsiyum Nitrat ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) doğrudan karıştırılmamalıdır.

Demir Şelatı (Fe-EDDHA, Fe-DTPA) ile Fosfatlı kimyasallar (KH_2PO_4) çökeltme oluşturabileceğinden ayrı tutulmalıdır.

Bakır (CuSO_4) ile Demir (Fe) çökeltme riski taşır, ayrı verilmelidir.

Çözelti hazırlandıktan sonra EC değeri 1.5 – 2.5 mS/ cm arasında tutulması gerekir (Anonim, 1 2025). Bu nedenle besin çözeltisi hazırlanırken, saf su kullanılması gerekir.

Besin çözeltisinin pH değeri ise üretim yapılacak bitkinin pH'sı na göre ayarlanır. Örneğin domates üretiminde, pH 5.5-6 olması gerekirken, marul üretimi için pH 6-7 arasında olmalıdır.

Besin çözeltisi hazırlama reçeteleri

Çizelge 3. Hoagland besin çözeltisi (Johnson, 1980; Sevgican, 1999; Kabay 2025)

stok konsantrasyon	5 litre suya
Potasyumnitrat (KNO_3)	252.88 g
Potasyumdihidrojenfosfat (KN_2PO_4)	144.12 g
Magnezyumsülfat ($\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	252.88 g
Borikasit (H_3BO_3)	1428.57 mg
Mangansülfat ($\text{MnSO}_4\cdot \text{H}_2\text{O}$)	740.74 mg
Çinkosülfat ($\text{ZnSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	105.82 mg
Bakırsülfat ($\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	26.45 mg
Molibasit ($\text{MoO}_3\cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	13.22 mg

Çizelge 4. Topraksız tarımda tüm bitkiler için besin çözeltisi (Anonim, 1 2025; Kabay 2025)

Besin Maddesi	100 Litre Suya Miktar
Kalsiyum Nitrat ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$)	1.2 g
Potasyum Nitrat (KNO_3)	0.5 g
Monopotasyum Fosfat (KH_2PO_4)	0.3 g
Magnezyum Sülfat (MgSO_4)	0.5 g
Potasyum Sülfat (K_2SO_4)	0.3 g
Demir Şelatı (Fe-EDDHA)	4 mg
Borik Asit (H_3BO_3)	0.3 mg
Çinko Sülfat (ZnSO_4)	0.1 mg
Manganez Sülfat (MnSO_4)	0.5 mg
Bakır Sülfat (CuSO_4)	0.05 mg
Sodyum Molibdat (Na_2MoO_4)	0.02 mg

Sonuç

Topraksız tarımda besin çözeltisi, üretimin sağlıklı yapılması için doğru şekilde hazırlanmalıdır. Doğru bir besin çözeltisi için su kalitesi iyi olmalıdır. Kullanılan suyun, tuz oranı, kireç oranı, ağır metal içeriği düşük olmalıdır.

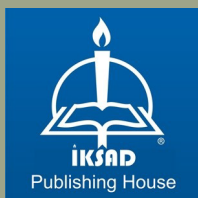
Kullanılan besin çözeltisi için saf su kullanılmalıdır. Çeşme suyu, musluk suyu, kuyu ve artezyen suyu kullanılırken saf su kullanılması, üretimin

verim ve kalitesi için önemlidir. Bunun yanında hazırlanan besin çözeltisinin, EC ve pH değeri, üretim yapılan bitkiye göre ayarlanmalıdır.

Hazırlanan besin çözeltisinin bitkilere verme aşamasında, tüm bitkilere ulaştığına bakılmalıdır. Çünkü üretimin ileriki dönemlerinde, köklerin büyümesi besin çözeltisi akışını olumsuz etkileyebilir.

Kaynaklar

- Anonim 1(2025) <https://www.tarimuzmani.com>
- Gül, A. (2008). Topraksız Tarım. Hasad Yayıncılık. İzmir
- Johnson, H. Jr., (1980). Hydroponics. A Guide to Soilless Culturesystems. Division of Agricultural Sciences, University of California Leaf let 2947.
- Kabay, T. (2025). İç mekan süs bitkilerinin yeni üyesi saksı sebzeciliği. Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences, 12(1), 9-14.
- Kempen, E., Agenbag, G. A., & Deckers, S. (2017). Variations in water and macronutrient uptake of soilless tomato as affected by the nutrient solution composition. South African Journal of Plant and Soil, 34(2), 139-148.
- Macwan, J., Pandya, D., Pandya, H., & Mankad, A. (2020). Review on soilless method of cultivation: hydroponics. Int. J. Recent Sci. Res, 11, 37122-37127.
- Sevgican, A. (1999). Örtüaltı Sebzeciliği (Topraksız Tarım) Cilt II. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 526. Bornova İzmir.
- Urrestarazu Gavilan, M. I. G. U. E. L., & Carrasco Silva, G. I. L. D. A. (2023). Soilless Culture and Hydroponics. Ediciones Mundi-Prensa.
- Zabunoğlu, S., Karaçal, İ. 1992. Gübreler ve Gübreleme. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları 1279.



ISBN: 978-625-378-459-1