

BİTKİ BİLİMLERİNDE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR “GÜBRE TEKNOLOJİLERİ, PEYZAJ VE STRES TOLERANSI”

Editör
Doç. Dr. Cihan DEMİR



Doç. Dr. Tuncay KAYA
Dr. Meral DOĞAN
Arş. Gör. Rıdvan TİK
Ziraat Yüksek Mühendisi Halime ÖZTÜRK
Ziraat Yüksek Mühendisi Mehmet Ali EMİNOĞLU

ISBN 978-625-5923-79-0
Ankara -2025

BİTKİ BİLİMLERİNDE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR: GÜBRE TEKNOLOJİLERİ, PEYZAJ VE STRES TOLERANSI

EDİTÖR

Doç. Dr. Cihan DEMİR
cihan.demir@klu.edu.tr
ORCID ID: 0000-0002-2866-4074

YAZARLAR

Doç. Dr. Tuncay KAYA¹

Dr. Meral DOĞAN²

Arş. Gör. Rıdvan TİK³

Ziraat Yüksek Mühendisi Halime ÖZTÜRK⁴

Ziraat Yüksek Mühendisi Mehmet Ali EMİNOĞLU⁵

¹Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Iğdır,
Türkiye,
tuncay.kaya@igdir.edu.tr
ORCID ID: 0000 0002-9126-4567

²Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü,
Şanlıurfa, Türkiye,
meraldogan9393@gmail.com
ORCID ID: 0000-0001-6227-2579

³Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Iğdır,
Türkiye,
ridvan.tik@igdir.edu.tr
ORCID ID: 0009-0008-1102-1743

⁴Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme
Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye,
hlmoztrk92@gmail.com
ORCID ID: 0000-0002-9251-1750

⁵Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve
Bitki Besleme Bölümü, Aydın, Türkiye,
eminoglumali@gmail.com
ORCID ID: 0000-0002-8752-5736

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.16744347>



Copyright © 2025 by UBAK 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. UBAK International Academy of Sciences Association Publishing House®

(The Licence Number of Pubicator: 2018/42945)

E mail: ubakyayinevi@gmail.com

www.ubakyayinevi.org

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

UBAK Publishing House – 2025©

ISBN: 978-625-5923-79-0

August / 2025

Ankara / Turkey

ÖNSÖZ

Küresel ölçekte artan nüfus, iklim değişikliği, su kıtlığı ve toprak yorgunluğu gibi sorunlar, tarımsal üretimi her zamankinden daha fazla baskı altına almıştır. Bu sorunlara karşı, sürdürülebilir ve verimli üretim yöntemlerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Elinizdeki bu kitap, bitkisel üretim alanında güncel yaklaşımları ve yenilikçi uygulamaları bir araya getirerek tarımsal bilime katkı sunmayı hedeflemektedir.

Birinci bölümde, **nano gübrelerin su kullanım verimliliği üzerindeki etkileri** ele alınmakta; nanoteknolojinin tarımsal sulama ve bitki beslemesindeki rolü değerlendirilmektedir. İkinci bölümde, **peyzaj mimarlığında tıbbi ve aromatik bitkilerin kullanımı** incelenerek, bu bitkilerin estetik ve fonksiyonel değerlerine odaklanılmaktadır. Üçüncü bölüm, **biyostimülant gübrelerin in vitro bitki üretimindeki olanaklarını** tartışmakta ve biyoteknolojik üretim süreçlerine katkılarını ortaya koymaktadır. Son bölümde ise, **bitkilerin kuraklık stresine karşı gösterdiği tolerans ve iyileşme mekanizmaları** incelenmektedir; böylece bitkilerin çevresel streslere karşı savunma stratejileri ortaya konulmaktadır.

Farklı disiplinlerden uzmanların katkısıyla hazırlanan bu eser, lisansüstü öğrenciler, akademisyenler ve uygulayıcılar için hem kuramsal hem de pratik bilgiler sunmayı amaçlamaktadır. Kitabın, bitkisel üretimde sürdürülebilir yaklaşımların geliştirilmesine ve bilimsel çalışmalara yön vermesine katkı sağlamasını diliyoruz.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında emeği geçen tüm yazarlarımıza ve katkı sunan herkese teşekkür ederiz.

Saygılarımızla,

.

05/08/2025

Doç. Dr. Cihan DEMİR

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	4
İÇİNDEKİLER	6

BÖLÜM 1

NANO GÜBRELERİN SU KULLANIM VERİMLİLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ.....	(8-28)
---	--------

Halime ÖZTÜRK

Mehmet Ali EMİNOĞLU

BÖLÜM 2

PEYZAJ MİMARLIĞINDA TIBBİ VE AROMATİK BİTKİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	(29-53)
--	---------

Rıdvan TİK

Tuncay KAYA

BÖLÜM 3

BİYOSTİMÜLANT GÜBRELERİN İN VİTRO BİTKİ ÜRETİMİNDE KULLANIM OLANAKLARI.....	(54-69)
--	---------

Meral DOĞAN

BÖLÜM 4

BİTKİLERİN KURAKLIK STRESİNE TOLERANSI VE GERİ KAZANIM (İYİLEŞME) MEKANİZMALARI.....	(70-91)
---	---------

Meral DOĞAN

BÖLÜM 1

NANO GÜBRELERİN SU KULLANIM VERİMLİLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Halime ÖZTÜRK

Mehmet Ali EMİNOĞLU

GİRİŞ

Küresel iklim değişikliği, su kaynakları üzerindeki baskının artmasına neden olarak tarımsal üretim süreçlerini giderek daha fazla zorlamaktadır. Özellikle yarı kurak ve kurak bölgelerde artan su stresi, tarımda sürdürülebilirliği tehdit eden en önemli çevresel sorunlardan biri hâline gelmiştir (Khan vd., 2021). Bu bağlamda, su kullanım verimliliğini (Water Use Efficiency, WUE) artıracak teknolojilerin geliştirilmesi, hem gıda güvenliği hem de doğal kaynakların korunması açısından büyük bir stratejik öneme sahiptir. Geleneksel gübreleme yöntemlerinin, toprağın su tutma kapasitesi, buharlaşma oranı ve bitki tarafından alınabilirlik gibi yönlerden yetersiz kaldığı bilinmektedir. Bu durum yalnızca suyun değil, aynı zamanda besin elementlerinin de israfına neden olmakta, çevresel kirlenmeyi ve ekonomik maliyetleri artırmaktadır (DeRosa vd., 2010; Raliya vd., 2016).

Son yıllarda bu sınırlılıkların aşılması amacıyla geliştirilen nano gübreler, sundukları hedefli salım, yüksek yüzey etkileşimi ve kontrollü çözünürlük gibi avantajlarıyla dikkat çekmektedir (El-Saadony vd., 2021). Nano gübrelerin, hem toprak fiziksel yapısı hem de bitki fizyolojisi üzerindeki etkileri, suyun daha etkin yönetilmesine katkı

sağlamaktadır. Araştırmalar, nano gübrelerin toprakta agregat stabilitesini artırarak suyun daha uzun süre tutulmasını sağladığını ve böylece sulama aralıklarını uzatabildiğini göstermektedir (Ajirloo ve Amiri, 2022). Benzer şekilde, nano gübre uygulamalarıyla kök gelişiminin teşvik edilmesi, suya erişimi derinleştirirken; stomatal regülasyonun desteklenmesi ise transpirasyon kayıplarını azaltmaktadır (Ahmadian vd., 2021; Burman vd., 2013). Özellikle çinko, silikon, potasyum ve kitosan bazlı nano gübrelerin; hem kuraklık stresine karşı koruyucu hem de tuzlu toprak koşullarında su verimliliğini artırıcı etkileri birçok çalışmada ortaya konmuştur (Kaur vd., 2020; Shoukat vd., 2025). Bu teknolojinin, sürdürülebilir tarım uygulamaları çerçevesinde, daha az su ve gübre kullanımıyla daha yüksek verimlilik sağlama potansiyeli vardır. Bu çalışma, nano gübrelerin su kullanım verimliliği üzerindeki çok boyutlu etkilerini ele almakta; bu teknolojinin tarımsal üretimde sunduğu yenilikçi olanakları değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Elde edilen veriler ışığında, nano gübrelerin yalnızca besin maddesi sağlayıcı değil, aynı zamanda stratejik bir su yönetim aracı olarak da değerlendirilebileceği vurgulanmaktadır.

Nano Gübrelerin Su Tutma Kapasitesini Artırması

Toprak-su ilişkisi, tarımsal üretimin sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahiptir. Nano gübreler, partikül boyutlarının küçüklüğü sayesinde yüksek yüzey alanıyla toprak ortamıyla etkileşir. Örneğin Ajirloo ve Amiri (2022) nano potasyum gübre uygulamasında soya bitkilerinde su kullanım verimliliğini (water use efficiency, WUE)

anlamli şekilde artirmisttir, bu durum dogrudan su tutulumuna dair veri olmasa da su stresine tolerans mekanizmasi acısından ilgili bir gostergerdir. Khodakovskaya ve arkadaslari (2012) ise karbon nanotuplerinin bitki tohumlarında su alimini kanal benzeri yapılarla artirdigini ve kok gelismisini destekledigini gostermistir. Ayrica Zaib ve arkadaslarinin (2023) kapsamlı derlemesi, nano uygulamalar sayesinde toprak agregasyonunun ve stabilitesinin artarak su tutma kapasitesinin iyilestigini raporlamisttir. Nano biyochar kullanımının ise su infiltrasyonunu yavaslatarak topraktaki suyun elverisliligini artirdigi bildirilmisttir (Elhaj, 2024). Özellikle nano-potasyum gubreler, toprak yapısında agregat stabilitesini artirarak su tutma kapasitesini yükseltmekte ve bunun sonucunda bitki buyumesini desteklemektedir.

Ajirloo ve Amiri (2022) nano-potasyum gubresi uygulamasının soya bitkilerinde su kullanım verimliligini %25'e kadar artirdigini raporlamis olup, bu durum su stresine karşi bitkisel toleransta anlamlı bir gelismeye isaret etmektedir. Bu çalışma, toprak su potansiyeli ve tarla kapasitesi hakkında dogrudan veri sunmasa da, suyun daha etkin kullanildigini gostermesi acısından dolaylı destek sağlar (Rostami Ajirloo ve Amiri, 2022). Öte yandan, Liu vd., (2016) tarafından çeltik tarlalarında nano-hidroksiapatit uygulamalarının su tutulumunu artirdigina dair ileri sürülen iddia literatürde dogrulanmamis olup, bu çalışmaya ait referans bulunamamaktadır.

Bununla birlikte, Noruzi vd., (2023) nHAP'in hidrofilik yüzey fonksiyonelligini artirarak kontrollü besin salımı sağladigini; Ding vd., (2017) ise nHAP'in toprakta ek yüzey fonksiyonel gruplar

oluşturduğunu ve hidrofilik yapı teşvik ederek su adsorpsiyonu kapasitesinde artışla sonuēlanabileceėini gōstermiřtir.

Kitosan bazlı nano gōbre uygulamaları, bitkilerin su stresine karşı dayanıklılığını artırma potansiyeli sayesinde tarımsal üretimde önemli avantajlar sunmaktadır. Bu tūr uygulamalarda, bitkilerde relatif su iēeriėinin yōkseldiėi, stomatal regōlasyonun iyileştiği ve buna bağlı olarak toprak nem kapasitesinin korunduğu belirlenmiştir (Behboudi vd., 2018; Rabelo vd., 2019).

Bu etkiler, özellikle kurak ve yarı kurak bōlgelerde, bitki gelişimini destekleyerek sulama sıklığının azaltılmasını mōmkōn kılmaktadır. Shinde vd., (2024), kitosan temelli nanokonjugatların bitkilerde kuraklık stresine karşı fizyolojik direnci artırarak sōrdōrōlebilir verimlilik sağladığını vurgulamıştır.

Bu bulgular, nano gōbrelerin yalnızca besin elementlerinin salımını dōzenlemekle kalmadığını, aynı zamanda su yōnetimi üzerinde de doğrudan etkili olduğunu gōstermektedir. Sonuē olarak, nano gōbrelerin toprak yapısını fiziksel olarak iyileştirme kapasitesi, onların yalnızca bir besin kaynağı değil, aynı zamanda etkili bir toprak dōzenleyici olarak da değerlendirilmesini mōmkōn kılmaktadır (şekil 1).



Şekil 1. Nano gübrelerin avantajları

Hedefli Gübreleme ve Su İsrafının Önlenmesi

Modern tarımda gübrelerin bitkiye etkili ulaşamaması, ekonomik ve çevresel kayıplara yol açmaktadır. Geleneksel azot ve fosfor gübreleri toprak çözeltisinde kolayca çözünerek buharlaşma, sızma veya yıkanma yoluyla kaybolur; bu da su kullanımını da etkileyerek hem gübre israfını hem de su kaynaklarının kirlenmesini artırır (Raliya vd., 2016). Nano-gübreler, 1–100 nm aralığındaki küçük partikül boyutları sayesinde geniş yüzey alanına sahiptir ve kök bölgesine kontrollü salım yaparak gübre ve su verimliliğini artırır. Bu sayede besin kaybı azalırken, sulama suyuyla besin taşınımı da engellenir (DeRosa vd., 2010). Ahanger vd., (2021) domates bitkisi üzerinde yaptığı çalışmada, nano-organik gübrelerin kök bölgesine

uygulandığında geleneksel gübreye kıyasla daha yüksek fotosentez oranları ve daha d    k su kaybı sağladığını bildirmiştir. Ayrıca, bu uygulamanın su stresine karşı etkin su kullanımına katkıda bulunarak toplam verimi %18 oranında artırdığı rapor edilmiştir (Ahanger vd., 2021).

Nano gübrelerin hedefli salım özellikleri, yalnızca besin maddelerinin kullanım etkinliğini artırmakla kalmaz, aynı zamanda su verimliliğini de doğrudan iyileştirir. Bu etki, gereksiz gübre birikimi veya yıkanması  nlendiğinde, toprakta ozmotik dengenin korunması ve bitkinin su alımının engellenmemesi ile açıklanabilir (Wang vd., 2016). Ayrıca nano-kapsülleme veya nano-emülsiyon gibi kontrollü salım formülasyonları sayesinde besinler yalnızca bitkinin ihtiyaç duyduğu zaman ve bölgede aktif hale gelir (Haydar vd., 2024). Nano gübrelerin sulama sistemleriyle entegrasyonu, özellikle damla sulama sistemleriyle kullanımda, kök bölgesine hassas yönlendirme sağlar ve partikül boyutlarının uygunluğu sayesinde tıkanma riski azalır; bu da tarımsal uygulamalar için büyük avantaj sunar (Behboudi vd., 2020). Sonuç olarak, nano gübrelerin hedefli gübreleme kabiliyeti, tarımsal verimliliği artırırken çevresel sürdürülebilirliği de destekleyen stratejik bir yaklaşımdır.

Bu sistem, yalnızca daha az gübre kullanımını değil, aynı zamanda daha d    k sulama gereksinimini de mümkün kılarak toplam su tüketimini azaltır ve girdi maliyetlerini d    rerek doğal kaynakların korunmasına katkı sağlar.

Bitki Su Kullanım Verimliliğini Artırması

Bitki su kullanım verimliliği (Water Use Efficiency – WUE), birim su tüketimi başına elde edilen biyokütle miktarını ifade eder ve su kıtlığının yaygın olduğu bölgelerde tarımsal sürdürülebilirlik açısından kritik bir göstergedir. Geleneksel gübre uygulamaları, genellikle besin elementi sağlamaya odaklandığı için WUE üzerinde doğrudan bir etki oluşturmaz. Buna karşın nano gübreler, kök gelişimi, stomatal düzenleme ve fotosentetik verimlilik gibi suyla ilişkili fizyolojik süreçleri iyileştirerek WUE üzerinde hem doğrudan hem de dolaylı etkiler gösterebilmektedir (El-Saadony vd., 2022; Seleiman vd., 2022).

Tablo 1. Nano ve geleneksel gübrelerin su kullanım verimliliği açısından karşılaştırılması

Kriter	Nano Gübre	Geleneksel Gübre
Su Tutma Kapasitesi	Yüksek; toprak agregat stabilitesini artırarak su tutma kapasitesini geliştirir (Zaib vd., 2023)	Düşük; buharlaşma kaybı gözlenir
Gübre Kullanım Etkinliği	%70–90; kontrollü salım sayesinde verimli kullanım (Mikkelsen, 2016; Hasan, 2024)	%30–50; yıkanma/volatilizasyon nedeniyle düşük
Bitki Su Kullanımı (WUE)	Yüksek; kök morfolojisi ve fotosentez desteğiyle iyileşir (Ahmadian vd., 2021)	Orta; düzensiz çözünme nedeniyle sınırlı etki
Kuraklık Dayanımı	Yüksek; stres toleransı artar ve enzim aktivitesi yükselir (Ahmadian vd., 2021)	Düşük; stres koşullarında düşen performans
Sulama Sıklığı	Düşük; su kullanımı iyileştiği için sulama aralığı uzar (Ahmadian vd., 2021)	Yüksek; sık sulama gerektirir
Tuzlu Toprak Performansı	Yüksek; iyon dengesi korunur (Zaib vd., 2023)	Düşük; tuz birikimi riski bulunur
Çevresel Etki	Düşük; düşük dozla etkili, çevreye zarar minimal (Hasan, 2024)	Yüksek; kirlilik riski ve su kaynaklarına etki
Uygulama Hassasiyeti	Yüksek; kontrollü salım kök bölgesine yönlendirilir (Singh, 2023; Hasan, 2024)	Düşük; dağılım homojen değil

Nano gübrelerin WUE üzerindeki etkilerinden biri, kök morfolojisini geliştirerek bitkinin toprak derinliklerinden daha etkin su alımını sağlamasıdır. Ahmadian ve arkadaşları (2020), nano-silika gübre uygulamasının buğday bitkisinde kök derinliği ve yoğunluğunu artırdığını ve bunun sonucunda WUE'nin yaklaşık %30 oranında iyileştiğini bildirmiştir. Ek olarak, nanosilika partiküllerinin hidrolik iletkenlik, su potansiyeli ve osmotik denge üzerinde düzenleyici etkileri olduğu, bu sayede transpirasyonun optimize edilerek fotosentezin desteklendiği belirtilmiştir. Ayrıca nano-çinko, nano-silikon ve nano-demir gibi elementler stomatal açıklığı düzenleyerek su kaybını minimize etmekte; bu da fotosentez sürecinin devamlılığını sağlayarak suyun daha verimli kullanılmasına olanak tanımaktadır (El-Saadony vd., 2022; Seleiman vd., 2022). Bu mekanizmalar sayesinde bitkiler, aynı miktarda su ile daha fazla biyokütle üretebilmekte ve genel tarımsal verimlilik artmaktadır. Sonuç olarak nano gübreler, hem su kaynaklarının etkin kullanımını sağlayan hem de sürdürülebilir tarım açısından stratejik öneme sahip yenilikçi bir teknolojidir.

Nano gübrelerin etkileri sadece su yönetimi ile sınırlı kalmayıp, fotosentetik pigment sentezi ve enzim aktiviteleri üzerinde de olumlu etkiler göstermektedir. Örneğin, El-Saadony ve arkadaşları (2022), nano-demir (Fe_3O_4) gübre uygulamasının hem yaprak klorofil içeriğini artırarak fotosentez verimliliğini yükselttiğini hem de bu sayede WUE üzerinde dolaylı olarak olumlu etkiler yarattığını göstermiştir. Bu durum, birim su kullanımına karşılık daha fazla karbon fiksasyonu anlamına geldiği için verimliliği artırmaktadır. Ayrıca Naderi ve Danesh-Shahraki (2013), nano-gübrelerin, bitkilerde antioksidan

savunma sistemini güçlendirdiğini ve su stresine bağlı oluşan oksidatif hasarı önemli ölçüde azalttığını belirtmişlerdir. Bu savunma mekanizması, özellikle stres koşullarında bitki dokularının bütünlüğünü koruyarak su kaybını azaltmakta ve dayanıklılığı artırmaktadır. Sonuç olarak nano gübreler, WUE üzerine çok boyutlu fayda sağlayarak suyun biyokütle üretimindeki verimliliğini artırmakta ve hem su alımını (kök düzeyinde) hem de su kaybını (yaprak düzeyinde) optimize eden bir araç olarak öne çıkmaktadır (El-Saadony vd., 2022; Naderi ve Danesh-Shahraki, 2013).

4. Kuraklık Stresine Karşı Koruma

Kuraklık, dünya genelinde tarımsal üretimi sınırlandıran en yaygın abiyotik stres faktörlerinden biridir ve iklim değişikliğiyle birlikte sıklık ve şiddeti artmaktadır. Bu durum, bitkilerde büyüme geriliği, fotosentez inhibisyonu ve verim kayıplarına neden olur. Sürdürülebilir tarım için kuraklığa dayanıklı sistemlerin geliştirilmesi hayati önem taşır ve nano gübrelerin bu yöndeki koruyucu etkileri dikkat çekmektedir (Khan vd., 2021; Seleiman vd., 2024).

Nano gübreler birden fazla mekanizma ile kuraklık stresine karşı koruma sağlar. Öncelikle kök gelişimini destekleyerek topraktaki su alımını artırır; örneğin Fatollahpour vd. (2020), nano-Fe ve nano-Zn uygulamalarının fasulyede kök uzunluğu ve yoğunluğunu artırdığını ve buna bağlı olarak turgor basıncını koruduğunu belirtmiştir. İkinci olarak, bu gübreler antioksidan savunmayı aktive ederek ROS birikimini sınırlar; böylece süperoksit dismutaz, katalaz ve peroksidaz

aktiviteleri artar (Kaur vd., 2020). Üçüncü olarak ise osmoregülasyona katkı sağlar; Rostami vd. (2023), nano gübre uygulamalarının prolin, çözünür şekerler ve glisin betain üretimini artırdığını rapor etmiştir.

Ayrıca, nano gübreler stomatal düzenlemeyi sağlayarak fotosentezi destekler. Örneğin, Eliaspour vd. (2020), mısırdaki nano-fertilizer uygulamasının fotosistem II etkinliğini artırdığını ve net fotosentez oranını %20 yükselttiğini bulmuştur. Dahası düşük dozlarda yüksek etkinlik, metabolik yükü azaltarak kuraklık koşullarında daha dengeli bir bitki yanıtı oluşturur (Naderi ve Danesh-Shahraki, 2013). Bu çok boyutlu etkiler sayesinde nano gübreler, hem su alımını hem su kaybını optimize ederek kuraklığa dayanıklı tarım sistemlerinde stratejik bir araçtır.

5. Sulama Sıklığının Azaltılması

Küresel ısınma ve hızlı nüfus artışı gibi faktörler mevcut su kaynakları üzerindeki baskıyı artırmakta; bu da tarımda su tasarrufu sağlayacak yenilikçi yaklaşımları her geçen gün daha önemli hâle getirmektedir. Sulama sıklığını azaltmak hem ekonomik maliyetleri düşürmekte hem de su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını desteklemektedir. Nano gübreler, bitki beslenmesini optimize etmenin ötesinde toprak-su-bitki ilişkisini iyileştirerek sulama gereksinimini azaltma potansiyeline sahiptir (Razauddin vd., 2023).

Nano gübrelerin bu alandaki etkisi, toprak agregat stabilitesini artırarak porozite ve su tutma kapasitesini iyileştirmesine dayanmaktadır. Örneğin ziraî bazı çalışmalarda, nano-potasyum gübre

uygulamasıyla sulama aralıklarının yaklaşık %30 uzadığı bildirilmiştir (Rostami Ajirloo ve Amiri, 2022). Ayrıca kontrollü salım teknolojileri sayesinde besin maddeleri uzun süre bitki tarafından kullanılabilir halde kalmakta, bu durum suyla taşınarak kaybolmalarını önlemekte ve sulama gereksinimini azaltmaktadır (DeRosa vd., 2010).

Bitki düzeyinde, kök sisteminin güçlendirilmesi sulama aralığını uzatmakta; Ahmadian vd. (2021), nano gübre uygulaması sonucu haftalık sulama gereksiniminin 10 güne çıktığını rapor etmiştir. Yapraklarda ise nano-silikon ve nano-çinko gibi elementler stomatal regülasyon sağlamakta; bu da su kayıplarını azaltarak bitkileri su stresine karşı daha dayanıklı hâle getirmektedir (Burman vd., 2013). Sonuç olarak sulama sıklığını azaltmak yalnızca su değil, iş gücü, enerji ve yakıt maliyetlerinden de tasarruf sağlar; bu da özellikle kırsal ve küçük ölçekli çiftçiler için büyük avantaj demektir. Nano gübreler geleneksel yöntemlere göre %20–40 daha az sulama gereksinimi oluşturabilir; özellikle damla sulama entegre sistemleriyle kullanıldığında verimlilik artmaktadır (Liu ve Lal, 2015). Bu çok yönlü mekanizmalar—toprak yapısı iyileştirme, kontrollü salım, kök gelişimi, stomatal düzenleme—nano gübreleri suya bağımlı tarımsal sistemlerde sürdürülebilirliğe katkı sağlayan stratejik araçlar haline getirmektedir.

6. Tuzlu Topraklarda Su Kullanım Verimliliği

Toprak tuzluluğu, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde tarımsal üretimi sınırlayan önemli bir stres faktörüdür. Yüksek tuzluluk, kök bölgesindeki ozmotik basıncı artırarak suyun bitki tarafından

alınmasını zorlaştırır ve iyon toksisitesi yoluyla bitki metabolizmasını bozar. Bu nedenle, tuzlu topraklarda WUE'yi artırmak, hem su kullanımını etkinleştirmeyi hem de tuz stresine karşı dayanıklılığı güçlendirmeyi gerektirir. Nano gübreler, bu açıdan bitki büyümesini tuzlu koşullarda destekleyerek tarımsal sürdürülebilirliğe katkı sağlar (Khan vd., 2021; Chhipa ve Sharma, 2024).

Nano gübrelerin tuzlu koşullarda WUE'yi artırma mekanizmaları şunlardır:

- i. **İyon homeostazi düzenleme:** Nano-çinko ve nano-silikon uygulamaları, özellikle tuzlu koşullarda yetiştirilen mısır bitkilerinde Na^+ birikimini sınırlayarak K^+/Na^+ oranını optimize eder ve iyon homeostazını güçlendirir. Bu durum, ozmotik basıncı düzenleyerek köklerin su alımını destekler (Shoukat vd., 2025; Rostami vd., 2023).
- ii. **Oksidatif stres azaltımı:** Nano ZnO ve nano-silikon uygulamaları, süperoksit dismutaz, katalaz ve askorbat peroksidaz gibi antioksidan enzimleri aktive ederek reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikimini azaltır. Bu durum, tuz stresine karşı hücrel savunma sistemlerini güçlendirir (Kaur vd., 2020; Hussain vd., 2019).
- iii. **Toprak koloid etkileşimi:** Nano-kil, nano-biyochar ve nano-selüloz gibi materyaller, toprak koloidleri ile etkileşerek iyon değişim kapasitesini artırır; bu da sodyum ve klorür gibi zararlı iyonların kök bölgesine geçişini sınırlar ve toprak-su dengesini iyileştirir (Khoshgoftarmanesh vd., 2022; Rastogi vd., 2020).
- iv. **Stomatal regülasyon:** Nano-silikon uygulamaları, stomatal açıklığı düzenleyerek transpirasyon kaybını azaltmakta ve bitkinin su

kullanım verimliliğini artırmaktadır. Mısır bitkisi üzerinde yapılan bir çalışmada, nano-silikon sayesinde net WUE’de %22 oranında bir artış kaydedilmiştir (Shoukat vd., 2025).

Sonuç olarak, tuzlu topraklarda nano gübre kullanımı yalnızca su kullanım verimliliğini artırmakla kalmaz, aynı zamanda tuz stresine karşı fizyolojik bozulmaları da engeller. Bu çift yönlü mekanizma, salın alanlarda tarımsal verimliliği yükseltmek ve sınırlı su kaynaklarını daha etkin kullanmak açısından stratejik öneme sahiptir.

SONUÇ

Nano gübre teknolojisi, tarımda su ve besin kullanım verimliliğini artırma potansiyeliyle sürdürülebilir tarıma yönelik yenilikçi çözümler sunmaktadır. Bununla birlikte, bu teknolojinin geniş ölçekli uygulamaları hâlâ başlangıç aşamasındadır; çevresel güvenilirlik, uzun vadeli toprak-bitki etkileşimleri ve sistem entegrasyonları gibi konularda daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Okram Devi ve Ojha, 2023).Biyogübrelerle kombinasyonu, nano gübrelerin su kullanım verimliliğini artırmadaki potansiyelini güçlendirmektedir. Çünkü mikroorganizma temelli biyogübreler azot fiksasyonu ve fosfor mobilizasyonu sağlarken, nano gübreler kontrollü besin salımı sunar. Nano-biyogübre uygulamaları, stres altındaki bitkilerde büyüme ve dayanıklılığı artırırken gübre ve su verimliliğini optimize eder (Sharma vd., 2023).

Nano gübrelerin damla sulama entegrasyonu da geleceğin tarımında stratejik bir alan teşkil etmektedir. Enter sistemlerde düşük doz etkinlik sayesinde doğrudan kök bölgesine ulaşan nano gübreler,

hem su hem gübre israfını minimize eder. Ancak, borularda birikme veya tıkanma riski göz önünde bulundurularak sistematik teknik değerlendirmeler gereklidir (El-Shadran vd., 2020).

Ayrıca nano gübrelerin kuraklık, tuzluluk ve yüksek sıcaklık gibi çevresel stresler altındaki performansları, tür-özgü etkileri ve doz-tepki ilişkileri kapsamlı biçimde analiz edilmelidir. Bu tür çalışmalar, uygulama zamanlaması ve yaygınlaştırma süreçlerinin belirlenmesinde kritik rol oynar (Sharma vd., 2023; Das, Ingiti ve Kalita, 2025). Toprak ekosistemine giren nano parçacıkların mikrobiyal biyoçeşitlilik üzerindeki etkileri ile yeraltı su sistemine geçiş potansiyelleri halen belirsizdir; bu nedenle konunun toksikoloji, ekotoksikoloji ve toprak mikrobiyolojisi perspektiflerinden ele alınması gerekmektedir (Das, Ingiti ve Kalita, 2025). Son olarak, nano gübreler uzaktan algılama, sensör sistemleri ve veri odaklı gübreleme teknolojileriyle entegre edildiğinde, su stresi gerçek zamanlı olarak izlenebilir ve uygulamalar hem su hem besin verimliliği açısından optimize edilebilir (Sharma vd., 2023). Genel olarak, nano gübre teknolojisinin WUE potansiyeli yüksek olmakla birlikte, güvenli, sürdürülebilir ve ölçeklendirilebilir uygulamalara dönüşmesi için disiplinler arası çok yönlü araştırmalar zorunludur.

KAYNAKÇA

- Ahmadian, K., Jalilian, J., ve Pirzad, A. (2021). Nano-fertilizers improved drought tolerance and water use efficiency in wheat under deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 244, 106544.
- Ahmadian, M., Bahrami, H., ve Esmaeilian, Y. (2021). Water use efficiency enhancement in wheat under nano-fertilizer application. *Agricultural Water Management*, 255, 107032.
- Ahmed, M., Marrez, D. A., Rizk, R., Abdul-Hamid, D., Tóth, Z., ve Decsi, K. (2024). Interventional effect of zinc oxide nanoparticles with *Zea mays* L. plants when compensating irrigation using saline water. *Nanomaterials*, 14(16), 1341.
- Burman, N., Patra, A. K., ve Dash, G. C. (2013). Foliar spray of silicon and zinc nanoparticles improves physiological parameters and yield in okra under water stress. *Plant Physiology Reports*, 18(3), 347–356.
- Chhipa, H., ve Sharma, V. (2024). Role of zinc and silicon nanoscale fertilizers in alleviating abiotic stress in crops. *Advances in Plant Biotechnology*, 3(1), 45–59.
- Das, D., Ingti, B., ve Kalita, J. (2025). Soil microbial dynamics in response to the impact of nanoparticles on agricultural implications. *Planta*.
- DeRosa, M. C., Monreal, C., Schnitzer, M., Walsh, R., ve Sultan, Y. (2010). Nanotechnology in fertilizers and pesticides: current state and future opportunities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(7), 4681–4694.

- Ding, L., Li, J., Liu, W., Zuo, Q., ve Liang, S.-X. (2017). Influence of nano-hydroxyapatite on the metal bioavailability, plant metal accumulation and root exudates of ryegrass for phytoremediation in lead-polluted soil. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(5), 532.
- Elhaj Baddar. (2024). Efficient water retention through nano-biochar under irrigation stress conditions. *Journal of Crop ve Botany Research*, 168, 270–285.
- El-Saadony, M. T., El-Tahan, A. M., Soliman, S. M., ve Taha, A. E. (2021). A review on sustainable nanofertilizers: Synthesis, applications and challenges. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(36), 49427–49444.
- El-Saadony, M. T., Saad, A. M., Soliman, M., et al. (2022). Role of nanoparticles in enhancing crop tolerance to abiotic stress. *Frontiers in Plant Science*, 13, 946717.
- El-Shadran, M. M., Ibrahim, A. H., ve El-Ghazaly, M. S. (2020). Enhancing emitter anti-clogging performance in drip systems using micro-nanobubble technology. *RSC Advances*, 10(15), 8534–8544.
- Fatollahpour, M., Rashidi, V., Mirshekari, B., Khalilvand Behrozyar, E., ve Farahvash, F. (2020). Evaluation of zinc and iron nanoparticles on root growth and drought stress tolerance in *Phaseolus vulgaris* L. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 14(2), 347–358.
- Hasan, B. K. (2024). Use of nano-fertilizers for enhancing nutrient use efficiency and agricultural crop productivity. *University of Thi-Qar Journal of Agricultural Research*, 13(2), 88–93.

- Hussain, A., Rizwan, M., Ali, Q., Ali, S., ve Rehman, M. Z. U. (2019). Zinc oxide nanoparticles as nano-fertilizer for the growth and yield of wheat. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(22), 23430–23439.
- Karunakaran, G., et al. (2016). Benefits of combining nanomaterials with biofertilizers in sustainable agriculture. *Journal of Applied Microbiology*, 121(3), 593–605.
- Kaur, R., Singh, S., ve Kaur, G. (2020). Role of nanofertilizers in stress tolerance of plants: A review. *Plant Archives*, 20(Suppl. 2), 3425–3430.
- Khan, M. F., Raza, A., ve Al-Suhaibani, N. (2021). Nanofertilizers for sustainable agriculture: enhancing stress tolerance and nutrient use efficiency. *Frontiers in Plant Science*, 12, 672216.
- Khan, M. I. R., Nazir, F., Asgher, M., Per, T. S., ve Khan, N. A. (2021). Nanomaterials and plant abiotic stress: Mechanisms and applications. In *Nanomaterials in Plants, Algae and Microorganisms* (pp. 239–263). Academic Press.
- Khodakovskaya, M. V., et al. (2012). Carbon nanotubes penetrate plant seed coat and dramatically affect seed germination and plant growth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(37), E2451–E2456.
- Khoshgoftarmanesh, A. H., Shariatmadari, H., ve Karimian, N. (2022). Clay nanoparticles mitigate salt stress in wheat by enhancing water and nutrient uptake. *Applied Clay Science*, 221, 106468.

- Liu, R., ve Lal, R. (2015). Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Science of the Total Environment*, 514, 131–139.
- Mirbakhsh, M. (2023). Role of nano-fertilizer in plant nutrient use efficiency: a mini review. *arXiv Biology*.
- Naderi, M. R., ve Danesh-Shahraki, A. (2013). Nanofertilizers and their role in sustainable agriculture. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5, 2229–2232.
- Noruzi, M., Hadian, P., Soleimanpour, L., Ma'mani, L., ve Shahbazi, K. (2023). Hydroxyapatite nanoparticles: an alternative to conventional phosphorus fertilizers in acidic culture media. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 10, 71.
- Okram Devi, R., ve Ojha, N. (2023). Roles of nano-fertilizers in sustainable agriculture and biosafety. *Environment ve Ecology Journal*, 12(3), 112–125.
- Raliya, R., Saharan, V., Dimkpa, C., ve Biswas, P. (2016). Nanofertilizer for precision and sustainable agriculture: Current state and future perspectives. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(13), 2651–2661.
- Rastami Ajirloo, A. A., ve Amiri, E. (2022). Effects of nano-potassium fertilizer on yield and water use efficiency of soybean under water deficit conditions (Case Study: Moghan Plain, Iran). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 53(12), 1542–1551.

- Rastogi, A., Zivcak, M., Tripathi, D. K., et al. (2020). Impact of metal and metal oxide nanoparticles on plant: A critical review. *Frontiers in Chemistry*, 8, 772.
- Razauddin, M., Ninama, J., Sachan, K., Yadav, B., Satapath, S. N., Kumar, J., ve Singh, B. V. (2023). Effects and consequences of nano-fertilizer application on plant growth and developments: a review. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(10), 2288–2298.
- Rostami Ajirloo, A., ve Amiri, R. (2022). Effects of nano-potassium fertilizers on water retention and soybean yield. *Iranian Journal of Plant Nutrition*, 15(3), 76–85.
- Rostami, M., Ghobadi, M. E., ve Tavakkol Afshari, R. (2023). Physiological and biochemical responses of wheat to silicon-based nanofertilizer under salinity. *Journal of Plant Nutrition*, 46(12), 1901–1912.
- Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Refay, Y. A., ve Ibrahim, M. H. (2022). Nanotechnology in modern agriculture: enhancing water use efficiency and stress tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 13, 981234.
- Sharma, D., Sridhar, K., Inbaraj, B. S., Chawla, P., Tripathi, M., ve Kumar, M. (2023). Nano-biofertilizer formulations for agriculture: A systematic review on recent advances and prospective applications. *Bioengineering*, 10(9), 1010.
- Shinde, N. A., Kavar, P. G., ve Dalvi, S. G. (2024). Chitosan-based nanoconjugates: a promising solution for enhancing crop

- drought-stress resilience and sustainable yield. *Plant Nano Biology*, 7(1), 100059.
- Shoukat, M., Noman, M., Hussain, A., et al. (2025). Silicon and zinc-based nanofertilizers mitigate salinity stress in maize: A field perspective. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9, 223451.
- Singh, P. (2023). Nanofertilizers: a review on nutrient use efficiency and controlled-release mechanisms. *Journal of Sustainable Agriculture*, 18(2), 123–138.
- Wang, X., et al. (2016). Vital roles of sustainable nano-fertilizers in improving plant crop growth, yield, quality, and nutrient use efficiency. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 179(6), 801–812.
- Zaib, M., Raza, I., Zubair, M., Arif, Z., Mumtaz, M. M., Abbas, M. Q., Javed, A., Salman, S., Sikandar, A., Kashif, M., Muneeb, M., ve Ashfaq, M. U. (2023). Nano-enabled soil amendments for improved soil structure and water holding capacity: an in-depth review. *International Research Journal of Environmental Science*, 5(8), 344–357.

BÖLÜM 2

PEYZAJ MİMARLIĞINDA TIBBİ VE AROMATİK BİTKİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Arş. Gör. Rıdvan TİK

Doç. Dr. Tuncay KAYA

GİRİŞ

Türkiye, sahip olduğu zengin flora sayesinde çok sayıda tıbbi ve aromatik bitki türüne ev sahipliği yapmaktadır. Nitekim ülkemizin toplam bitki taksonu sayısı 11.707 olarak belirlenmiş olup, bu türlerin 3.649'u yalnızca Türkiye'ye özgü endemik taksonlardır (Avcı, 2005).

Bu çeşitlilik, Türkiye'nin biyolojik zenginliğini ortaya koymakla birlikte, tıbbi ve aromatik bitkilerin sürdürülebilir kullanımı ve korunması açısından da önemli bir potansiyel sunmaktadır. Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de doğal florada bulunan bitkiler, yüzyıllardır halk tarafından çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Bu bitkiler; tedavi edici özellikleriyle birlikte gıda, çay, baharat, boya, böcek kovucu (insektisit) üretimi, hayvan hastalıklarının tedavisi, reçine ve zamburak elde edilmesi, uçucu ve sabit yağlardan yararlanma gibi pek çok alanda geleneksel bilgi birikimiyle değerlendirilmiştir. Aynı zamanda meşrubat ve kozmetik sanayiinde de önemli bir yer tutmuşlardır. Ancak bu kültürel zenginlik, artan şehirleşme ile birlikte zamanla kaybolma tehlikesiyle karşı karşıya kalmıştır (Faydaoğlu ve Sürücüoğlu, 2011). Modern tıpta sağlanan büyük ilerlemelere rağmen,

insanlar zaman zaman şifayı doğada aramaya devam etmiş ve kuşaktan kuşağa aktarılan deneyimlerle tıbbi bitkilerin kullanımı günümüze kadar sürmüştür. Özellikle kimyasal içerikli ilaçların olası yan etkilerinin artması, doğal ve bitkisel kaynaklara olan yönelimi güçlendirmiştir (Bayramoğlu ve ark., 2009; Yıldız ve ark., 2010).

Peyzaj tasarımı kapsamında bitkilendirme, tasarımın temel bileşenlerinden biri olup, kimi tematik park uygulamalarında ana unsur olarak öne çıkmaktadır. Bitkilerin insan yararına kullanımı ve kültüre alınarak yetiştirilmesi, tarihsel süreç içerisinde oldukça eski dönemlere uzanmaktadır. Başlangıçta doğadan toplanarak değerlendirilen bitkiler, insanların yerleşik yaşama geçmeleriyle birlikte kontrollü olarak bahçelerde yetiştirilmeye başlanmıştır. Önceleri gıda üretimi amacıyla sebze türlerinin yetiştirilmesine öncelik verilmiş, ilerleyen dönemlerde ise bitkilerin hastalıklara karşı sağladığı yararlar fark edilerek tıbbi amaçlarla da kullanılmaya başlanmıştır (Yücel ve Evren, 2010).

Peyzaj tasarımında, belirli bir temaya bağlı kalınsa dahi bitki seçimi yapılırken yalnızca türlerin ekolojik gereksinimleri ve işlevsel özellikleri değil, aynı zamanda sundukları estetik değerler de dikkate alınmaktadır. Bitkilerin yaprak, çiçek, meyve, dal ve kabuk gibi organlarının renk, biçim ve dizilim özellikleri; mekânsal düzenlemelerde hangi türlerin tercih edileceğini belirlemede önemli bir rol oynamakta, böylece görsel açıdan etkileyici kompozisyonların oluşturulmasına olanak sağlamaktadır (Dönmez ve ark., 2016).

Bu bölümün amacı, tıbbi ve aromatik bitkilerin tanımı, kullanım alanları ve tarihsel gelişim süreci çerçevesinde, söz konusu bitkilerin peyzaj mimarlığı disiplinindeki yeri ve potansiyel kullanım alanlarını

çok boyutlu bir yaklaşımla ortaya koymaktır. Tıbbi ve aromatik bitkilerin yalnızca sağlık ve ilaç sanayii açısından değil, aynı zamanda estetik, işlevsel, ekolojik ve kültürel açılardan da peyzaj tasarımlarına katkı sağlayabilecek önemli bitkisel kaynaklar olduğuna dikkat çekilmekte; bu bitkilerin sürdürülebilir peyzaj uygulamaları kapsamında değerlendirilmesinin gerekliliği vurgulanmaktadır. Bu doğrultuda, tıbbi ve aromatik bitkilerin süs bitkisi olarak kullanım potansiyeli, iyileştirici peyzaj alanlarındaki işlevleri, eğitim ve toplum bilincine katkıları, tür koruma stratejilerindeki rolleri ile ekonomik ve ekolojik sürdürülebilirliğe olan katkıları ele alınmaktadır. Ayrıca, geleneksel bilgi birikimi ile bilimsel peyzaj yaklaşımlarının entegrasyonu aracılığıyla bu bitkilerin peyzaj tasarımında daha etkin ve bilinçli şekilde kullanımına yönelik öneriler sunulması hedeflenmektedir.

1. Tıbbi ve aromatik bitkilerin tanımı ve kullanım alanları

Günümüzde “tıbbi” ve “aromatik” bitki kavramları çoğu zaman birlikte kullanılmakta olup, bu bitkiler genel olarak hastalıkların önlenmesi, sağlığın korunması ya da tedavi amacıyla kullanılan türleri ifade etmektedir. Tıbbi bitkilerden yararlanmak için genellikle “drog” adı verilen kurutulmuş ve belirli biçimlerde hazırlanmış bitki kısımları kullanılmaktadır. Bu kısımlar arasında kök, köksap, yumru, gövde, odunsu yapılar, kabuk, yaprak, çiçek, meyve, tohum ve tüm bitkinin kurutulmuş hali (herba) yer almaktadır. Söz konusu bitkiler yalnızca sağlık alanında değil; beslenme, kozmetik, kişisel bakım, tütsü üretimi ve dini ritüeller gibi çeşitli kullanım alanlarında da

değerlendirilmektedir (ECPGR, 2005; Arslan ve ark., 2015; Temel ve ark., 2018). Iğdır Üniversitesi şehit bülent Yurtseven Yerleşkesinde *Lavandula angustifolia* Miller hasat edilerek kozmetik ürünlerde kullanılmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. *Lavandula angustifolia* Miller (Orijinal)

Tıbbi ve aromatik bitkiler, hastalıkların önlenmesi, sağlığın korunması ve tedavi süreçlerinde kullanılan, ilaç sanayisinde önemli bir yere sahip bitkisel kaynaklardır. Bu bitkiler, yalnızca sağlık alanında değil, aynı zamanda peyzaj tasarımlarında da estetik, işlevsel, ekolojik ve ekonomik hedeflerle farklı ölçeklerde değerlendirilmektedir (Faydaoğlu & Sürücüoğlu, 2011; Kara, 2020; Karaşah, 2025).

İnsanlar tarih boyunca bitkileri; beslenme, ısınma, savunma, duygularını ifade etme ve en önemlisi sağlık kazanma amacıyla çeşitli şekillerde kullanmışlardır. Zamanla bilimsel bilginin ve özellikle tıp disiplininin gelişmesiyle birlikte, tedavi edici özellikleriyle öne çıkan

tıbbi ve aromatik bitkilerin önemi artmış; bu bitkiler çok disiplinli yaklaşımları gerektiren ve geniş bir ekonomik alanı kapsayan bir sektör hâline gelmiştir (Arslan ve Ekren, 2018).

Pouya ve Demir'in (2017) belirttiğine göre, Türkiye florası; endüstriyel, tıbbi, kimyasal, kozmetik ve parfümeri gibi birçok sektörde, özellikle gıda katkı maddesi ve ham madde kaynağı olarak değerlendirilebilecek zengin bir bitki çeşitliliğine sahiptir. Ayrıca, tıbbi ve aromatik bitkiler, tarımda zararlılarla mücadelede pestisit alternatifi olarak da kullanılan doğal ürünler arasında yer almaktadır.

Tıbbi ve aromatik bitkilerin önemli kullanım alanlarından biri de süs bitkileri sektörüdür. Geleneksel konut bahçelerinde hem estetik hem de işlevsel amaçlarla değerlendirilen bu bitkiler, günümüzde özellikle park tasarımları ve tematik bahçelerde dikkat çeken öğeler hâline gelmiştir (Dönmez ve ark., 2016).

Farklı ölçeklerde peyzaj tasarımlarına entegre edilebilen tıbbi ve aromatik bitkiler, geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir. Türkiye'nin farklı coğrafi bölgelerine yayılmış olan bu türler, hem doğal hem de kültürel peyzaj içinde giderek artan bir talep görmektedir. Türkiye'de tıbbi ve aromatik bitkilerin sağlık ve eczacılık alanındaki yeri uzun süredir bilimsel olarak ortaya konmuş olsa da bu bitkilerin peyzaj mimarlığı bağlamındaki rolü yeterince tanımlanmamıştır (Pouya ve Demir, 2017). Oysa hoş kokuları, estetik çiçekleri, renkli yaprakları ve iyileştirici etkileri sayesinde bu bitkiler dünya genelinde süs bitkisi olarak da tercih edilmekte ve peyzaj tasarımlarında alternatif bir potansiyel sunmaktadır (Kösa ve Güral, 2019). Bu bitkilerin özellikle

Çevresel koşullara karşı gösterdikleri yüksek dayanıklılık dikkate alındığında, peyzaj tasarımı, planlama ve bitkilendirme çalışmalarında tür ve ekotip çeşitliliğini; renk, form, boyut ve çevresel uyumluluk açısından artırdıkları görülmektedir. Peyzaj düzenlemelerinde yabancı türlerin yoğun şekilde kullanılması, ekosistem üzerinde olumsuz etkiler doğurabileceği endişesini gündeme getirse de tıbbi ve aromatik bitkilerin kullanımı, peyzaj alanlarının uzun vadede sürdürülebilirliğini ve kalıcılığını destekleyebilmektedir (Pouya ve Demir, 2017).

2. Sürdürülebilir peyzaj tasarımında tıbbi ve aromatik bitkilerin yeri

Sürdürülebilir peyzaj tasarımı, doğal kaynakların etkin kullanımı, ekolojik dengeyi koruma ve çevresel etkileri en aza indirme amacı taşıyan bütüncül bir yaklaşımdır. Bu bağlamda, tıbbi ve aromatik bitkiler; düşük bakım gereksinimleri, iklim koşullarına adaptasyon kabiliyetleri ve biyolojik çeşitliliği destekleyici özellikleri sayesinde sürdürülebilir peyzaj uygulamaları için önemli bir bitki grubunu oluşturmaktadır. Aynı zamanda bu bitkiler, hoş kokuları, görsel çeşitlilikleri ve sağlığa katkı sunan işlevsel nitelikleriyle hem estetik hem de yararlı bir peyzaj öğesi olarak değerlendirilmektedir. Yerel ve endemik türlerin kullanımı, bölgesel ekosistemlerin korunmasına katkı sağlarken, geleneksel bilgi birikiminin de yaşatılmasına olanak tanımaktadır. Bu özellikleriyle tıbbi ve aromatik bitkiler, sürdürülebilir peyzaj tasarımında ekolojik, ekonomik ve kültürel açıdan çok yönlü bir değer taşımaktadır.

Peyzaj uygulamalarında yaygın olarak kullanılan süs bitkilerinin yetiştirilmesi, bilinçli ve kontrollü bir yaklaşım gerektirmektedir. Bu bağlamda, tıbbi değeri bulunan süs bitkilerinin de benzer bir özenle yetiştirilmesi ve bakımlarının kontrollü bir şekilde sağlanması önem arz etmektedir. Doğal ortamlarından bilinçsizce ve aşırı miktarda toplanan, bu nedenle yok olma riskiyle karşı karşıya kalan tıbbi bitkilerin, süs bitkisi olarak kullanılabilen türlerinin yetiştirilmesi ve çoğaltılması teşvik edilmelidir. Bu yaklaşım, hem bu bitkilerin korunmasına katkı sağlayacak hem de sürdürülebilir peyzaj uygulamalarına destek olacaktır. Dolayısıyla, tıbbi özellik taşıyan bitkilerin üretiminin artırılması ve peyzaj düzenlemelerinde daha yaygın biçimde kullanılması yönünde gerekli adımlar atılmalıdır (Con, 2025).

Bitkisel tasarım uygulamalarında, estetik görünümün yanı sıra işlevsel katkılar sunmaları nedeniyle tıbbi ve aromatik bitkilere sıklıkla yer verilmektedir. Arslan ve arkadaşları (2018) tarafından belirtilen başlıca kullanım alanları arasında; koleksiyon bahçeleri, şifaterapi bahçeleri, botanik bahçeleri, kaya bahçeleri, çatı ve teras bahçeleri, kuru taş duvarlar, parter düzenlemeleri, saksı bitkileri, eğimli alanlar ile yol kenarları yer almaktadır.

2.1. İyileştirici peyzaj unsuru olarak şifa-terapi bahçeleri

Şifa bahçeleri, hastalar, hasta yakınları, ziyaretçiler ve sağlık personelinin içinde bulundukları stresli ortamdan kısa süreli de olsa uzaklaşmalarını teşvik eden, bu doğrultuda özel olarak tasarlanmış peyzaj alanlarıdır (Ulrich, 1999; Pouya ve ark., 2015). Bu tür alanların temel amacı, bireylerin ruhsal ve fiziksel iyilik hâllerine katkı

sağlamaktır. Öte yandan, "iyileştirme" (healing) kavramı, bireylerin içinde bulundukları yeni çevresel koşulları kabul ederek kendilerini daha iyi hissetmeleriyle karakterize edilen olumlu ve destekleyici bir süreç olarak tanımlanmaktadır (Akın, 2006; Pouya ve ark., 2015).

Bu bahçelerde genellikle tıbbi ve aromatik bitkiler başta olmak üzere, duyuusal uyarım sağlayan renk, doku ve kokuya sahip bitki türleri tercih edilmektedir. Doğal çevrenin iyileştirici etkisinden faydalanmayı amaçlayan bu alanlar, hastaneler, rehabilitasyon merkezleri, yaşlı bakım evleri gibi çeşitli sağlık kurumlarının bahçelerinde veya kamusal alanlarda oluşturulabilmektedir. Kullanıcıların doğayla etkileşim kurarak stres düzeylerini azaltmaları, ruhsal rahatlama yaşamaları ve genel sağlıklarının desteklenmesi hedeflenmektedir.

2.2. Botanik bahçeleri

Botanik bahçeleri, doğal ve kültüre alınmış bitki türlerini belirli bir düzen içerisinde yetiştiren; halkı ve öğrencileri bilgilendirme, eğitme ve botanik bilimi hakkında temel düzeyde farkındalık kazandırma amacı taşıyan kurumlardır. Aynı zamanda rekreasyonel ihtiyaçlara yanıt veren bu bahçeler, çeşitli bitki türleri üzerinde bilimsel araştırmaların yürütüldüğü alanlar olarak da işlev görmektedir (Heywood, 1987; Önder ve Konaklı, 2011). Botanik bahçelerinde, tıbbi ve aromatik bitkilere ayrılmış özel bölümler yer almakta; bu bölümler, söz konusu bitkiler hakkında bilgi edinmek ve tür çeşitliliğini keşfetmek isteyen kullanıcılar için önemli bir öğrenme alanı sunmaktadır. Ayrıca, bu tematik bölümlerin varlığı, bahçelerin peyzaj

tasarımında çeşitlilik ve işlevsellik kazandırmaktadır (Kösa ve Güral, 2019).

Botanik bahçeleri, yerli ve yabancı birçok bitki türünün bilimsel amaçlarla tanıtıldığı, korunduğu ve araştırıldığı özel peyzaj alanlarıdır. Bu alanlar, bitki biyolojisi, ekoloji, peyzaj mimarlığı ve çevre eğitimi gibi çeşitli disiplinlere hizmet ederken; halkın bitkilerle ilgili farkındalığını artırmak, çevre bilincini geliştirmek ve doğal kaynakların korunmasına katkı sağlamak amacıyla da önemli bir işlev üstlenmektedir.

2.3. Kaya bahçeleri

Tıbbi ve aromatik bitkiler; sahip oldukları renk, form, doku ve boyut gibi görsel özellikleri sayesinde, peyzaj tasarımlarında farklı bitkisel kompozisyonların oluşturulmasında önemli rol oynamaktadır. Özellikle benzer ölçülere sahip olmalarına rağmen farklı doku ve renk karakteristikleri sergileyen bu bitkiler, kaya bahçelerinde estetik çeşitlilik yaratmak amacıyla yüksek kullanım potansiyeline sahiptir (Kösa ve Güral, 2019).

2.4. Teras ve çatı bahçeleri

Teras ve çatı bahçeleri, kentleşmenin artmasıyla birlikte sınırlı yeşil alanların değerlendirilmesi amacıyla geliştirilmiş peyzaj uygulamalarıdır. Bu bahçeler, binaların üst kısımlarında oluşturulan, genellikle saksı ya da toprak dolgu sistemleri kullanılarak düzenlenen bitkilendirme alanlarıdır. Teras ve çatı bahçelerinde, özellikle dayanıklı ve bakımı kolay türler tercih edilir. Aromatik ve tıbbi bitkiler, renk,

doku ve form çeşitliliği ile bu alanlarda sıkça kullanılmakta olup, estetik ve fonksiyonel katkılar sağlamaktadır. Tarihsel süreçte, çatı bahçelerinin ilk örneklerinde teneke kaplarda yetiştirilen aromatik bitkiler yaygınken, günümüzde gelişen teknolojilerle birlikte bu uygulamalar standartlaşmış ve peyzaj mimarisinde önemli bir yer edinmiştir (Brandmaillive, 2009). Ayrıca, bu bahçeler kentsel iklimi iyileştirmesi, enerji tasarrufu ve sosyal kullanım alanları oluşturma gibi çevresel ve toplumsal faydalar da sağlamaktadır.

3. Tıbbi ve aromatik bitkilerin peyzaj tasarımındaki rolü

Tıbbi ve aromatik bitkiler, peyzaj tasarımında hem estetik hem de işlevsel yönleriyle önemli bir rol üstlenmektedir. Bu bitkiler; renk, form, doku, koku ve boyut gibi duysal özellikleriyle görsel çeşitliliği artırmakta, aynı zamanda doğal yaşam alanlarının sürdürülebilirliğine katkı sağlamaktadır. Özellikle düşük bakım gereksinimleri, çevresel streslere karşı dayanıklılıkları ve biyolojik çeşitliliği destekleme kapasiteleri sayesinde, çağdaş peyzaj tasarımında tercih edilen doğal ve çevreci birer bitki grubu hâline gelmişlerdir.

3.1. Eğitim amaçlı peyzaj uygulamalarında tıbbi ve aromatik bitkiler

Türkiye’de birçok tıbbi ve aromatik bitki türü yetiştirilmekte ve çeşitli alanlarda kullanılmakta olmasına rağmen, bu bitkilerin peyzaj mimarlığı açısından taşıdığı önemin yeterince anlaşılmadığı görülmektedir. Uzmanların söz konusu bitkileri yeterince tanınamaması, öğrencilerin ve peyzaj mimarlarının bu türlere yönelik bilgi eksikliği

içerisinde olması, bu durumun temel nedenleri arasında yer almaktadır (Yoğunlu, 2011; Pouya ve Demir, 2017).

3.2. Peyzaj tasarımında tıbbi ve aromatik bitkilerin toplum bilincine katkısı

Halk arasında bazı tıbbi ve aromatik bitkilerin isimleri bilinmekle birlikte, bu bitkilerin sahip oldukları tıbbi özellikler hakkında yeterli bilgiye sahip olunmamaktadır. Bu tür bitkilerin peyzaj tasarımlarında kullanılması, insan ile doğa arasındaki ilişkinin güçlenmesine katkı sağlarken, aynı zamanda bitkilerin hem adlarının hem de işlevsel niteliklerinin tanınmasını kolaylaştırmaktadır (Kafi ve ark., 2015). Bu bağlamda, park ve bahçeler gibi kamusal açık alanlarda tıbbi ve aromatik bitkilerin tanıtıldığı alanlarda, bilgilendirme levhalarına yer verilmesi; ziyaretçilere bitkiler hakkında bilgi sunarak farkındalık yaratmakta ve toplumsal bilincin artırılmasında önemli bir rol üstlenmektedir (Pouya ve Demir, 2017).

3.3. Tıbbi ve aromatik bitkilerin sağlık odaklı peyzaj kullanımı

Peyzaj tasarım ve planlama projelerinde kullanılan tıbbi ve aromatik bitkiler, bireylerin geleneksel ve doğal tedavi yöntemlerine olan ilgisini artırma potansiyeline sahiptir. Bu bitkilerin düşük maliyetli olması ve genellikle ciddi yan etkilere neden olmamaları, halk sağlığının desteklenmesine olumlu katkı sağlamaktadır. Bu bağlamda, tıbbi ve aromatik bitkilerin kamusal alanlarda yer alması, doğal tedaviye yönelik toplumsal eğilimi teşvik etmekte ve sağlıklı yaşam

biçimlerinin benimsenmesine katkıda bulunmaktadır (Kafi ve ark., 2015; Pouya ve Demir, 2017).

3.4. Peyzaj tasarımında tür koruma stratejisi olarak tıbbi ve aromatik bitkiler

Türkiye’de gerçekleştirilen etnobotanik araştırmalar, yöre halkı tarafından tıbbi amaçlarla kullanılan çok sayıda bitki türü bulunduğunu ortaya koymaktadır. Ancak bu türlerin yalnızca sınırlı bir kısmı kültüre alınmış ve üretimi yapılabilmektedir (Kevseroğlu ve ark., 2014; Dönmez ve ark., 2016). Bu bitkilerin tarımsal olarak yetiştirilmesi ve peyzaj mimarlığı projelerinde kullanılması, hem bu türler hakkında toplumsal farkındalık oluşturmak hem de doğal popülasyonlarının korunmasına katkı sağlamak açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle endemik türlerin peyzaj tasarımlarına entegre edilebilmesi için yürütülecek kültüre alma çalışmaları, bu türlerin yok olmasının önlenmesi bakımından kritik bir rol üstlenmektedir (Kösa ve Güral, 2019). Böylelikle, biyolojik çeşitliliğin korunması ile birlikte, yerel bitki varlığının peyzaj yoluyla yaşatılması da mümkün hâle gelmektedir.

4. Tarihsel süreçte tıbbi ve aromatik bitkilerin kullanımı ve bilimsel temelleri

Arkeolojik bulgular ve yazılı belgeler, tıbbi ve aromatik bitkilerin Eski Mezopotamya, Eski Mısır ve Eski Yunan gibi uygarlıklarda çok yönlü biçimlerde kullanıldığını göstermektedir. Bu bitkiler, yalnızca hastalıkların tedavisinde değil; aynı zamanda bedensel dayanıklılığı

artırma, hoş kokular yoluyla çevresel etkileşimi düzenleme ve ölüm sonrası bedenin korunması gibi çeşitli amaçlarla da değerlendirilmiştir (İli, 2003; Faydalıoğlu ve Sürücüoğlu, 2013; Aslan ve Karakuş, 2019). M.Ö. 2000’li yıllara tarihlenen bazı papirüs belgelerinde, yaklaşık 450 hastalığın tanımlandığı, bitkisel kökenli ilaç bileşimlerine yer verildiği ve yaralanma, kırık ile burkulma gibi durumlara yönelik tedavi yöntemlerinin ayrıntılı biçimde açıklandığı tespit edilmiştir (Baytop, 1999; Abacıoğlu ve ark., 1998; İli, 2003; Aslan ve Karakuş, 2019).

Orta Çağ’da Müslüman hekim ve eczacıların yaklaşık iki bin kadar tıbbi bitkiyi tanıdığı ve bu bitkileri tedavi amacıyla etkin biçimde kullandığı bilinmektedir. Aynı zamanda, farklı medeniyetlerin tıbbi bilgi birikimlerine değer vererek bu kaynakları incelemiş ve kendi tıbbi anlayışlarına entegre etmişlerdir. Selçuklu döneminde ise tıp bilimi ve halk sağlığına büyük önem atfedilmiş; hastaneler ve şifahaneler kurulmuş, uçucu yağlar, ıtri bitkiler ve aromatik sular çeşitli hastalıkların iyileştirilmesinde kullanılmıştır. Bunun yanı sıra, çeşitli macun ve pomatlar da tedavi süreçlerinde önemli bir yer tutmuştur. Osmanlılar, Selçuklulardan devraldıkları bu bilgi ve uygulama mirasını daha da geliştirerek sürdürmüştür.

Nitekim Fatih Sultan Mehmet’in, kızı Gevher Sultan’ı bitkisel ilaçlarla tedavi ettiği kaynaklarda belirtilmektedir. Osmanlı tıbbına ait günümüze ulaşan önemli eserlerden Mücerrebat ve Madde’tü’l-Hayat, hem hastalıklar hem de bitkisel ilaçlara dair değerli bilgiler içeren klasik kaynaklar arasında yer almaktadır (Köprülü ve Uzun, 1989; Aslan ve Karakuş, 2019).

4.1. Küresel ölçekte tıbbi ve aromatik bitkilerin üretimi ve ticareti

Dünya genelinde çok sayıda tıbbi ve aromatik bitki türünün yaklaşık 36 milyon hektarlık bir alanda tarımı yapılmaktadır. Üretim miktarları açısından değerlendirildiğinde ise kahve, kakao, çay ve kırmızıbiber gibi ürünler ön sıralarda yer almaktadır. Bu bitkiler yalnızca yerel kullanımda değil, aynı zamanda uluslararası ticaret açısından da yüksek ekonomik değere sahiptir. Nitekim, küresel tıbbi ve aromatik bitki ticareti 2000 yılında 50 milyar dolar seviyesindeyken, 2016 yılı itibarıyla 180 milyar dolara ulaşarak dikkat çekici bir büyüme göstermiştir (Temel ve ark., 2018).

4.2. Türkiye’de tıbbi ve aromatik bitkilerin ekonomik potansiyeli ve pazar durumu

Türkiye’de kentsel iç ve dış mekânlarda kullanılabilecek çok sayıda doğal tıbbi ve aromatik bitki türü bulunmaktadır. Bu çerçevede, toplumda farkındalık oluşturmak, doğal türlerin sürdürülebilirliğini güvence altına almak ve tıbbi aromatik bitkileri kentsel yaşam alanlarıyla buluşturmak önemli bir gereklilik arz etmektedir (Sarı, ve Karaşah, 2019). Bu yaklaşım, hem biyolojik çeşitliliğin korunmasına katkı sağlamakta hem de kentsel ekosistemlerin ekolojik ve sosyal işlevlerinin güçlendirilmesine olanak tanımaktadır.

Türkiye’de yaklaşık 20 tür tıbbi ve aromatik bitkinin üretimi, 1,3 milyon dekar tarım alanında gerçekleştirilmektedir. 2000–2015 yılları arasında bu alanda yaklaşık %40’lık bir artış gözlemlenmiştir. Ülkenin tıbbi ve aromatik bitkiler dış ticaretinde, 2015 yılında 280 milyon dolarlık ihracat ve 254 milyon dolarlık ithalat gerçekleşmiştir.

İhracatta, %25’lik payla kekik (Şekil 2) ilk sırada yer almakta olup, Türkiye dünya kekik ticaretinin yaklaşık %70–80’ini kontrol etmektedir. İthalatın %61’lik kısmını ise kahve oluşturmaktadır. İhracatta önemli bir yer tutan uçucu yağlar arasında gül, kekik, stearopten ve portakal yağları bulunmaktadır. Uçucu yağ üretimi ve ihracatının büyük bölümü gülyağına aittir. İthalatta ise nane, portakal, limon, diğer turunçgiller ve lavanta gibi uçucu yağlar önemli pay sahibidir (Temel ve ark., 2018).



Şekil 2. *Thymus vulgaris* L. (Orijinal)

5. Peyzaj çalışmalarında yoğun kullanılan bazı tıbbi aromatik bitkiler

Peyzaj tasarımında tıbbi bitkilerin seçiminde çevresel koşullara uyum sağlaması, görsel estetik açısından özgün niteliklere sahip olması, fitokimyasal olarak zararlı bileşenler içermemesi, sakinleştirici ve cezbedici etkiler sunması önem arz etmektedir (Pouya ve Demir, 2017).

Ayrıca, bitkilerin renk özelliklerinin, mekânda hedeflenen psikolojik etkiyi oluşturacak şekilde seçilmesi beklenmektedir. Bu kriterler hem ekolojik dengeyi korumak hem de kullanıcıların mekânsal deneyimini zenginleştirmek açısından temel değerlendirme ölçütleri arasında yer almaktadır. Peyzaj tasarımında yoğunlukla tercih edilen tıbbi ve aromatik bitkiler, Çizelge 1’de sistematik olarak sunulmuştur.

Çizelge1. Peyzaj çalışmalarında kullanılan bazı tıbbi-aromatik bitkilerin özellikleri (Pouya ve Demir, 2017; Sarı ve Karaşah, 2019; Surat, 2020; Çorbacı ve Ekren, 2021; Con, 2025).

No	Familyası	Bilimsel Adı	Peyzaj Değeri
1	Adoxaceae	<i>Viburnum opulus</i> L.	Çiçek ve Meyve
2	Adoxaceae	<i>Vibirnum lantana</i> L.	Çiçek ve Meyve
3	Anacardiaceae	<i>Cotinus coggygria</i> Scop.	Çiçek ve Yaprak
4	Cornaceae	<i>Cornus mas</i> L.	Çiçek ve Meyve
5	Cornaceae	<i>Cornus sanguinea</i> L.	Çiçek ve Sonbahar Renklenmesi
6	Corylaceae	<i>Corylus avellana</i> L.	Çiçek ve Meyve
7	Cupressaceae	<i>Juniperus communis</i> L.	Form
8	Cupressaceae	<i>Juniperus oxycedrus</i> L.	Form
9	Ebenaceae	<i>Diospyros kaki</i> Thunb.	Meyve
10	Ericaceae	<i>Arbutus andrachne</i> L.	Gövde, Kabuk Rengi ve Meyve
11	Ericaceae	<i>Erica manipuliflora</i> Salisb.	Çiçek ve Yaprak
12	Fabaceae	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	Çiçek
13	Fagaceae	<i>Castanea sativa</i> L.	Form ve Meyve

14	Fagaceae	<i>Fagus orientalis</i> L.	Formu ve Sonbahar Renklenmesi
15	Juglandaceae	<i>Juglans regia</i> L.	Form
16	Lamiaceae	<i>Lavandula angustifolia</i> Miller	Form, Yaprak ve Çiçek
17	Lamiaceae	<i>Origanum rotundifolium</i> Boiss.	Form, Yaprak ve Çiçek
18	Lamiaceae	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	Form, Yaprak ve Çiçek
19	Lauraceae	<i>Laurus nobilis</i> L.	Yaprak
20	Liliaceae	<i>Asparagus officinalis</i> L.	Yaprak
21	Moraceae	<i>Ficus carica</i> L. Subsp. <i>carica</i>	Kaligrafik Yapısı
22	Moraceae	<i>Morus alba</i> L.	Form ve Meyve
23	Oleaceae	<i>Olea europaea</i> L.	Meyve, Yaprak ve Kaligrafik Yapısı
24	Pinaceae	<i>Abies nordmanniana</i> (Stev.) Spach. Subsp. <i>nordmanniana</i>	Form
25	Pinaceae	<i>Pinus sylvestris</i> L.	Form
26	Platanaceae	<i>Platanus orientalis</i> L.	Yaprak
27	Punicaceae	<i>Punica granatum</i> L.	Form, Yaprak, Çiçek ve Meyve
28	Rosaceae	<i>Cerasus avium</i> L.	Çiçek ve Meyve
29	Rosaceae	<i>Malus</i> spp.	Form ve Meyve
30	Rosaceae	<i>Prunus spinosa</i> L.	Meyve
31	Rosaceae	<i>Pyracantha coccinea</i> M.Roem.	Form ve Meyve
32	Rosaceae	<i>Rosa canina</i> L.	Yaprak, Meyve ve Çiçek
33	Rosaceae	<i>Sorbus aucuparia</i> L.	Meyve, Yaprak ve Kabuk
34	Vitaceae	<i>Vitis vinifera</i> L.	Form ve Meyve

SONUÇ

Tıbbi ve aromatik bitkiler, peyzaj mimarlığında estetik niteliklerinin yanı sıra ekolojik işlevleri ve insan sağlığı üzerindeki olumlu etkileriyle çok boyutlu bir önem taşımaktadır. Bu bitkilerin çevresel koşullara uyumlu seçilmesi ve peyzaj tasarımına entegre edilmesi, sürdürülebilir kentsel ve doğal alanların oluşturulmasında kritik bir role sahiptir. Ayrıca bu türlerin biyolojik çeşitliliği destekleme kapasitesi, peyzaj uygulamalarının ekosistem hizmetleri bağlamında değerlendirilmesini gerektirmektedir. Gelecekte gerçekleştirilecek disiplinlerarası çalışmaların, tıbbi ve aromatik bitkilerin peyzaj mimarlığındaki kullanım alanlarını genişleteceği ve sürdürülebilir peyzaj stratejilerinin bilimsel temelini güçlendireceği öngörülmektedir. Bu doğrultuda, bilinçli ve planlı bitki kullanımı, kentsel yaşam kalitesinin artırılmasına ve çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasına yönelik önemli bir adım teşkil etmektedir. Tıbbi ve aromatik bitkilerin peyzaj tasarımlarında daha yaygın kullanımı teşvik edilmelidir. Bu bitkiler, yalnızca estetik katkılarıyla değil; aynı zamanda çevresel dayanıklılıkları, düşük bakım gereksinimleri ve biyolojik çeşitliliği destekleyen özellikleriyle sürdürülebilir peyzaj yaklaşımlarında önemli bir yer tutmaktadır. Bu kapsamda bazı öneriler geliştirilmiştir;

Endemik ve doğal yayılış gösteren tıbbi bitkilerin kültüre alınarak peyzaj projelerine entegre edilmesi sağlanmalı; bu bağlamda, tıbbi ve aromatik bitkilere ilişkin bilgilendirici tasarım unsurlarına (etiketleme, bilgi panoları vb.) peyzaj alanlarında yer verilmelidir. Bu tür uygulamalar, toplumun söz konusu bitkiler hakkında bilgi düzeyini

artırarak çevresel ve sağlık temelli farkındalığın gelişmesine katkı sunacaktır.

Peyzaj mimarlığı eğitimi kapsamında, tıbbi ve aromatik bitkilere yönelik teorik ve uygulamalı ders içeriklerine daha fazla ağırlık verilmelidir. Böylelikle, geleceğin peyzaj mimarları bu bitkilerin ekolojik, estetik ve kültürel değerlerini gözeterek daha bilinçli tasarım kararları alabilecektir. Özellikle kentsel alanlarda bireylerin ruhsal ve fiziksel iyilik hâline katkı sağlayan nitelikli yeşil alanların artırılması amacıyla şifa ve terapi bahçeleri gibi sağlığı destekleyici tematik peyzaj alanlarının yaygınlaştırılması teşvik edilmelidir.

Tıbbi ve aromatik bitkilerin ekolojik, kültürel ve ekonomik boyutlarını birlikte ele alan çok disiplinli akademik çalışmalar desteklenmeli; böylece bu bitkilerin peyzaj mimarlığındaki rolü daha sağlam bilimsel temellere dayandırılarak geliştirilebilecektir. Ayrıca, kentsel yeşil altyapının planlanmasında bu bitkilere stratejik roller verilerek, çevresel stres faktörlerine dayanıklı türler aracılığıyla hava kalitesinin iyileştirilmesi, biyofilik tasarım öğelerinin artırılması ve doğal ekosistem hizmetlerinin desteklenmesi mümkün olacaktır.

Sonuç olarak, tıbbi ve aromatik bitkilerin peyzaj mimarlığındaki çok yönlü rolü, yalnızca estetik ve ekolojik işlevlerle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda sağlık, sürdürülebilirlik, çevresel farkındalık ve kültürel değerlerin korunması gibi birçok alanda da katkı sağlamaktadır. Bu nedenle, bu bitkilerin peyzaj tasarımlarında etkin ve bilinçli bir şekilde kullanımı, gelecekteki uygulamalar ve akademik araştırmalar açısından temel bir referans noktası olmaya devam edecektir.

KAYNAKÇA

- Abacıoğlu, N., Onursal, E., Hatunoğlu, K., ve Abacıoğlu, H. (1998). Türkiye’de Tıbbi İlaç Rehberi, Palme Yayıncılık, Ankara, 324, 598-599.
- Akın, Z. Ş. (2006). Çocuklar için iyileştirme bahçeleri (Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Ankara, 129s.
- Arslan, N., Baydar, H., Kızıl, S., Karık, Ü., Şekeroğlu, N., & Gümüüşçü, A. (2015). Tıbbi aromatik bitkiler üretiminde değişimler ve yeni arayışlar. *Türkiye Ziraat Mühendisliği VIII. Teknik Kongresi*, 12, 16.
- Arslan, M., & Ekren, E. (2018). Mythos and opportunities of usage in landscape architecture of some medicinal and aromatic plants naturally growing in Turkey. *Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Lokman Hekim Tıp Tarihi ve Folklorik Tıp Dergisi*, 8(3), 172-184.
- Aslan, R., & Karakuş, Z. (2019). Gelenekten günümüze tıbbi ve aromatik bitkiler. *Ayrıntı Dergisi*, 7(73), 60-66.
- Avcı, M. (2005). Çeşitlilik ve Endemizm Açısından Türkiye’nin Bitki Örtüsü. *Coğrafya Dergisi*, 13, 27-55.
- Bayramoğlu, M.M., Toksoy, D. ve Şen, G. (2009). Türkiye’de Tıbbi Bitki Ticareti. II. Ormancılıkta Sosyo - Ekonomik Sorunlar Kongresi bildiriler kitabı içinde. (ss. 88-98). Isparta: Orman Fakültesi.

Baytop, T. (1999). Türkiye’de Bitkiler ile Tedavi. İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul.

Brandmaillive (2009) http://www.brandmaillive.com/2009/05/sayi_16/ng.html (Erişim tarihi: 07 Temmuz 2025).

Con, G. Y. (2025). Edirne Peyzajında Tıbbi Süs Bitkileri. *Bahçe*, 54(Özel Sayı 1), 192-202.

Çorbacı, Ö. L., & Ekren, E. (2021). Rize kentsel açık yeşil alanlarında kullanılan tıbbi ve aromatik bitkilerin değerlendirilmesi. *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi*, 17(1), 159-172.

Dönmez, Ş., Çakır, M., & Kef, Ş. (2016). Bartın’da yetişen bazı tıbbi ve aromatik bitkilerin peyzaj mimarlığında kullanımı. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 1(2), 1-8.

ECPGR (2005). Medicinal and Aromatic Plants Working Group–ECP/GR. (Erişim tarihi: 10 Temmuz 2025)

Faydaoğlu, E., & Sürücüoğlu, M. S. (2011). Geçmişten günümüze tıbbi ve aromatik bitkilerin kullanılması ve ekonomik önemi. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 11(1), 52-67.

Faydaoğlu, E., & Sürücüoğlu, M. (2013). Tıbbi ve aromatik bitkilerin antimikrobiyal, antioksidan aktiviteleri ve kullanım olanakları. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 6(2), 233-265.

- Heywood, V.H. (1987). The Changing Role of the Botanic Garden, IUCN (International Union for Conservation of Nature) Monitoring Centre, Kew, England, UK.
- İli, P. (2003). Bazı tıbbi bitkilerin kimyasal içerikleri ve hayvanlara etkileri (Yüksek Lisans Tezi). Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Bölümü, Denizli, 119s.
- Kafi, M., Homayouni, G., Ebadi, M., Tagi, Z.A. (2015) Application of Medicinal And Aromatic Plants İn Landscape Design & Healing Garden, Entesharat Amuzesh Keshavarzi, Tahrán.
- Kara, B. (2020). Isparta iklim koşullarında yetişen bazı tıbbi ve aromatik bitkilerin şifa bahçeleri örneğinde kullanımı. (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Karaşah, B. (2025). Koku Bahçelerinde Değerlendirilebilecek Bazı Tıbbi ve Aromatik Bitkiler ve Sağladıkları Ekosistem Hizmetleri. *Bahçe*, 54(Özel Sayı 1), 419-428.
- Kevseroğlu, K., Uzun, A., ve Çalışkan, V. (2014). Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesi Doğal Florasında Belirlenen Tıbbi ve Aromatik Bitkiler. II. Tıbbi Ve Aromatik Bitkiler Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Yalova, s. 108-117
- Köprülü. O.F., ve Uzun, M. (1989). Akşemseddin. Diyanet Vakfı İslam Ansiklopedisi, Güzel Sanatlar Matbaası, c. 2, İstanbul, ss. 299 - 302.

- Kösa, S., & Güral, S. M. (2019). Tıbbi ve aromatik bitkiler ve peyzajda kullanımları. *Peyzaj*, 1(1), 41-54.
- Önder, S. & Konaklı, N. (2011). Konya’da botanik bahçesi planlama ilkelerinin belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8(2), 1-11.
- Pouya, S., Bayramoğlu, E., & Demirel, Ö. (2015). Şifa bahçesi tasarım yöntemlerinin araştırılması. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 15(1), 15-25.
- Pouya, S., & Demir, S. (2017). Peyzaj mimarlığında tıbbi ve aromatik bitkilerin kullanımı. *Journal of International Social Research*, 10(54).
- Sarı, D., & Karaşah, B. (2019). İç ve dış mekanlarda kullanılabilecek tıbbi-aromatik bazı süs bitkileri. In *4th International Symposium on Innovative Approaches in Architecture, Planning and Design. SETSCI Conference Proceedings* (Vol. 4, No. 7, pp. 152-156).
- Surat, H. (2020). Artvin’de Doğal Olarak Yetişen Bazı Tıbbi- Aromatik Ve Ekonomik Değere Sahip Odunsu Bitkilerin Peyzaj Mimarlığında Kullanım Alanlarının Değerlendirilmesi. *Journal of International Social Research*, [s. l.], v. 13, n. 74, p. 240–248.
- Ulrich, R. S, (1999). Effects of gardens on health outcomes: Theory and research. In C. Cooper- Marcus & M. Barnes (Eds.), *Healing Gardens: Therapeutic Benefits and Design Recommendations*. New York: John Wiley, pp. 27- 86.

- Temel, M., Tinmaz, A. B., Öztürk, M., & Gündüz, O. (2018). Dünyada ve Türkiye’de tıbbi-aromatik bitkilerin üretimi ve ticareti. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 21, 198-214.
- Yaldız, G., Yüksek, T. ve Şekeroğlu, N. (2010). Rize İli Orman Ve Kıyı Köylülerinin Kalkındırılmasında Tıbbi Ve Aromatik Bitkilerin Önemi. III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi bildiriler kitabı içinde (ss. 1176- 1185). Rize.
- Yoğunlu, A. (2011). Fırat Kalkınma Ajansı, Tunceli Ekonomik Değeri Olan Bitkiler Raporu. *Sektörel Araştırmalar Serisi-5, Fırat kalkınma Ajansı*, 1-25.
- Yücel, G. ve Evren, D. (2010). Tıbbi-Aromatik Bitkilerin Bahçe Tasarımlarında Ve Kaya Bahçelerinde Dış Mekân Süs Bitkisi Olarak Kullanım Olanakları. IV. Süs Bitkileri Kongresi bildiriler kitabı içinde (ssç 529-534). Mersin: Alata Bahçe Kùltürleri Araştırma Enstitüsü.

BÖLÜM 3

BİYOSTİMÜLANT GÜBRELERİN İN VİTRO BİTKİ ÜRETİMİNDE KULLANIM OLANAKLARI

Dr. Meral DOĞAN

GİRİŞ

Günümüzde tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini sağlamak, verimliliği artırmak ve çevresel etkileri en aza indirmek amacıyla alternatif gübreleme stratejilerine olan ilgi giderek artmaktadır. Bu bağlamda biyostimülantlar, son yıllarda bitki büyümesini teşvik edici etkileriyle dikkat çeken çevre dostu biyolojik girdiler olarak öne çıkmaktadır (Akdağ vd.,2024). Biyostimülantlar, bitkilerin besin alımını, stres toleransını ve fizyolojik gelişimini artırma potansiyeline sahip olup, geleneksel gübrelerden farklı olarak doğrudan besin sağlamak yerine bitkilerin büyüme mekanizmalarını ve fizyolojisini uyarmaktadır. Tarım üretiminin gelişimi süresince; biyotik ve abiyotik kaynaklı stres faktörleri, hatalı ve bilinçsiz tarımsal uygulamalar, aşırı gübreleme ve sulama ile kimyasal maddelerin kullanımı gibi durumlar, yetiştirme alanlarında verim ve kalite düşüşüne neden olmaktadır (Anjum vd., 2011). Verim ve kalite üzerindeki olumsuz etkileri azaltmak veya ortadan kaldırmak amacıyla, bitki gelişimini düzenleyen uygulamalar ve yeni yetiştirme teknikleri üzerine araştırmalar yürütülmektedir (Külahtaş ve Çokuysal, 2016). Bu çalışmalardan biri biyostimülant uygulamalarıdır. Bitki besin

elementleri, bazı büyüme düzenleyiciler, deniz yosunu gibi organik ve inorganik bileşenler içeren preparatlar biyostimülant olarak kullanılabilir. Bu tür yaygın uygulamalar, bitki gelişimini, verimi, kaliteyi ve abiyotik streslere karşı dayanıklılığı teşvik etmektedir. Biyostimülantlar; “Biyostimülant” veya “Bitki Aktivatörü” gibi farklı isimlerle anılmaktadır (Brown ve Saa, 2015). Son yıllarda çevre dostu tarımsal ürünlerin kullanımının artmasıyla birlikte, biyostimülant ürünlere yönelik araştırmalar da her geçen gün artmakta ve bu ürünlerin ticaret hacmi sürekli genişlemektedir. Çevresel sorunların artması nedeniyle üreticiler biyostimülantların geleneksel gübrelerle birlikte kullanımının faydalarını giderek daha fazla vurgulamakta ve bu doğrultuda devam eden araştırma ve geliştirme çalışmaları da biyostimülantların etkinliğini artıracak yenilikçi formülasyonların ortaya çıkmasına ve çevre dostu çözümlere olan talebin karşılanmasına katkı sağlamaktadır. Ekonomik ve sürdürülebilirlik temelli zorluklar nedeniyle, biyostimülantlar hâlâ geleneksel tarımsal ürünlerin üretiminde yeni kabul edilen uygulamalar arasındadır ve bu nedenle bu konuda çok sayıda araştırma halen devam etmektedir (Rouphael ve Colla , 2020).

İn vitro bitki çoğaltımı, genetik olarak sağlıklı bitkilerin elde edilmesinde kullanılan etkili bir biyoteknolojik yöntem olup, özellikle nadir, ekonomik değeri yüksek veya zor çoğaltılan türler için büyük önem taşımaktadır. Ancak doku kültürü teknikleri, çeşitli çevresel ve fizyolojik stres faktörlerine karşı oldukça hassastır. Bu nedenle, kültür ortamlarının optimize edilmesi ve büyüme düzenleyicilere alternatif veya tamamlayıcı biyolojik maddelerin değerlendirilmesi

gerekmektedir (Kayın ve Turan, 2023). Biyostimölantların in vitro ortamda kullanımı, bitki dokularının farklılaşma, rejenerasyon ve köklenme süreçlerini destekleyerek, çoğaltım verimliliğini artırma potansiyeli sunmaktadır. Ayrıca, bazı biyostimölantlar antioksidan sistemleri aktive ederek, doku kültürü sırasında oluşabilecek oksidatif stresin etkilerini azaltabilmektedir. Bununla birlikte, biyostimölantların in vitro koşullarda kullanımı hâlâ araştırma aşamasında olup, etkili konsantrasyon aralıkları, etki mekanizmaları ve tür-spesifik tepkiler gibi konulara ilişkin bilimsel çalışmaların sayısı artış göstermektedir (Ambros vd., 2020).

Bu bölümde, biyostimölant gübrelerin sınıflandırılması, etki mekanizmaları ve özellikle in vitro bitki çoğaltımındaki uygulama olanakları bilimsel literatür doğrultusunda ele alınacak; aynı zamanda bu alandaki mevcut zorluklara ve gelecek perspektiflere de yer verilecektir.

Temel Biyostimölant Türleri ve Özellikleri

Mikrobiyal İnokulantlar

Mikrobiyal biyostimölantlar, bitki gelişimini teşvik eden faydalı mikroorganizmaları (PGPR: Plant Growth-Promoting Rhizobacteria, AMF: Arbusküler Mikoriza Fungusları vb.) içeren preparatlardır. Bu mikroorganizmalar rizosferde koloni oluşturarak kök bölgesinde besin alımını artırır, hormon üretimini (özellikle IAA, gibberellinler) düzenler, abiyotik stres koşullarına (kuraklık, tuzluluk) karşı direnç mekanizmalarını aktive eder. Ayrıca, bazı türler (ör. *Azospirillum*, *Bacillus*, *Pseudomonas*) ACC deaminaz enzimi

retimiyle etilen birikimini azaltarak stresin zararlı etkilerini hafifletir. Mikrobiyal inokulantlar, in vitro kültür sistemlerinde kök oluşumunu artırmak ve su stresi simülasyonlarında dayanıklılığı test etmek amacıyla kullanılabilmektedir (Calvo vd.,2014; Ronga vd., 2019).

Hümik Asitler

Hümik asitler, organik maddenin mikrobiyal parçalanması sonucu oluşan büyük moleküllü bileşiklerdir ve toprak yapısını iyileştirici, iyon değişim kapasitesini artırıcı etkileriyle bilinir. Bitkilerde kök gelişimini destekler, su ve besin alımını artırır, hücre zarlarını stabilize ederek çevresel streslere karşı dayanıklılığı artırır. Doku kültürü ortamlarında kullanıldığında, köklenme aşamasında morfogenez sürecine olumlu katkılar sağlayabilir (Elena vd., 2009; Canellas vd.,2015).

Fulvik Asitler

Fulvik asitler, hümik asitlere göre daha düşük molekül ağırlığına sahip, daha mobil ve biyolojik olarak daha aktif bileşiklerdir. Bitki hücrelerine kolayca nüfuz ederek metabolik aktiviteleri teşvik eder. Fulvik asitler, bitkilerde klorofil sentezini artırabilir, enzim aktivitelerini düzenleyebilir ve mineral taşınımını iyileştirebilir. Özellikle in vitro koşullarda explantların hayatta kalma oranlarını artırmak, stres toleransını güçlendirmek ve doku kültürlerinde rejenerasyon verimini iyileştirmek için kullanılmaktadır (Ronga vd., 2019).

Protein Hidrolizatları ve Amino Asitler

Protein hidrolizatları; bitkisel ya da hayvansal proteinlerin enzimatik veya kimyasal yollarla parçalanması sonucu oluşan peptit ve serbest amino asit karışımlarıdır. Bu bileşikler bitkilerde hücre bölünmesini teşvik eder, antioksidan savunma sistemlerini aktive eder, fotosentez etkinliğini artırır. Özellikle prolin, glisin, alanin gibi amino asitler kuraklık ve tuzluluk gibi stres koşullarında osmotik dengeyi koruyarak bitkiyi korur. Doku kültürlerinde morfogenez ve organogenez süreçlerinde gen ekspresyonunu olumlu yönde etkileyerek bitki gelişimini hızlandırabilir (El-Zohiri ve Asfour, 2009).

Deniz Yosunu Ekstraktları

Deniz yosunu ekstraktları (*Ascophyllum nodosum*, *Laminaria spp.* gibi türlerden elde edilen) polisakkaritler, fitohormonlar (özellikle sitokinin, auxin ve ABA), vitaminler ve antioksidanlar bakımından zengindir. Bu bileşenler, bitki gelişimini destekleyici, stres toleransını artırıcı, çiçeklenme ve meyve tutumunu teşvik edici etkiler gösterir. Ayrıca, hücre bölünmesini uyararak doku kültürü ortamlarında sürgün oluşumunu ve köklenmeyi hızlandırabilir. Özellikle *in vitro* ortamlarda kullanıldığında, explantların adaptasyon sürecini kolaylaştırarak rejenerasyon başarısını artırmaktadır (Ronga vd., 2019).

İn Vitro Çoğaltım Yönteminin Potansiyeli Kullanım Alanları

Bitki doku kültürü, modern bitki biyoteknolojisinin temel taşlarından biri olarak kabul edilmektedir. Bu yöntem, bitkilerin kök,

gövde, yaprak gibi farklı organlarından veya meristematik bölgelerinden alınan ve *eksplant* olarak adlandırılan doku parçalarının, steril koşullarda ve uygun besin ortamlarında *in vitro* olarak kültüre alınmasını içermektedir. Doku kültürü ile yapılan üretim, klasik tarımsal çoğaltım yöntemlerine kıyasla çok daha hızlı, güvenilir ve kontrollü bir şekilde yürütülebilmektedir. Bu yöntemin temel amaçları arasında hastalıklardan arındırılmış bitki materyali elde etmek, genetik sağlığı koruyarak yüksek kalitede üretim sağlamak, biyokimyasal bileşiklerin üretimini teşvik etmek ve genetik kaynakların sürdürülebilirliğini sağlamak yer almaktadır. Aynı zamanda klasik yöntemlerle üretimi zor olan türlerde, bu teknik sayesinde başarı sağlanabilmektedir (Ambros vd., 2020). Genetik mühendisliği alanında da doku kültürü; gen transferleri, mutasyonların sabitlenmesi ve stres toleransı yüksek bireylerin seçilmesi gibi birçok uygulamanın temelini oluşturur. Bitki doku kültürünün en önemli alt uygulamalarından biri olan mikroçoğaltım (*in vitro* mikroyayılım), özellikle klonal çoğaltım ihtiyacının karşılanmasında ve seçkin genotiplerin seri üretiminde büyük önem taşımaktadır (Kumar ve Reddy 2011). Mikroçoğaltım, çevresel koşullardan bağımsız şekilde, laboratuvar ortamında yılın her döneminde sürdürülebilir bitki üretimi yapılmasına olanak tanır. Bu yönüyle iklim, mevsim ve coğrafi sınırlamalardan etkilenmeden sağlıklı ve homojen bitki üretimi gerçekleştirilebilir. Özellikle tohumla çoğaltılması zor, yavaş büyüyen veya eşeyli çoğaltımı mümkün olmayan bitkilerde bu teknik, vazgeçilmez bir yöntem hâline gelmiştir (Kayın ve Turan, 2023). Mikroçoğaltım süreci birkaç temel aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak,

uygun şekilde sterilize edilen eksplantlar kültür ortamına alınır ve bu aşamada sürgün gelişimi başlatılır. Gelişen sürgünler daha sonra çoğaltma ortamlarına transfer edilir ve burada bölünerek sayıca artırılır. Elde edilen sürgünlerin köklendirilmesiyle birlikte, bitkilerin dış ortama aktarımı öncesi iklimlendirme ve adaptasyon süreçleri yürütülür. Bu aşama, laboratuvar ortamında gelişen bitkilerin dış koşullara uyum sağlaması ve sağlıklı büyümeye devam etmesi açısından kritik öneme sahiptir. Mikroçoğaltım sayesinde, genetik olarak benzer ve hastalıklardan arındırılmış bitkilerin kısa sürede ve yüksek miktarda üretimi mümkün olur. Bu yönüyle hem ticari hem de akademik çalışmalar açısından ideal bir çoğaltım sistemidir. Bitkisel üretimin geleceğinde, hem ticari hem de bilimsel bağlamda bu tekniklerin kullanımı giderek daha kritik hâle gelmektedir (Taji vd., 2024).

Biyostimülantların Mikroçoğaltım Süreçlerindeki Potansiyeli ve Bitki Ekstraktlarının Kullanım Olanakları

Günümüzde bitki üretiminde verimliliği artırmak, genetik olarak üstün bireyleri hızlı ve etkili biçimde çoğaltmak amacıyla geleneksel yöntemlerin ötesine geçen teknolojilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu doğrultuda, in vitro kültür teknikleri, özellikle vejetatif çoğaltımın hızlı, kontrollü ve hastalıksız yapılabilmesi açısından oldukça cazip ve yenilikçi bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Doku kültürü teknolojisi sayesinde, kısa sürede büyük miktarda homojen bitki materyali elde edilebilmekte ve bu bitkiler

özellikle ticari üretimde, genetik kaynakların korunmasında ve ıslah çalışmalarında kritik rol oynamaktadır (Fay,1994).

İn vitro mikroçoğaltım teknikleri özellikle virüssüz, genetik olarak stabil ve kaliteli bitki üretilmesi açısından yaygın şekilde kullanılmaktadır. Ancak, laboratuvar koşullarında başarıyla çoğaltılan bitkilerin doğal ortama adaptasyon süreci çoğu zaman zorlu olmakta; bu durum, köklenme aşamasının optimizasyonunu ve kültür ortamındaki destekleyici uygulamaların önemini artırmaktadır. Bu bağlamda, özellikle kök oluşumu ve sürgün gelişimini teşvik eden etkili protokollerin geliştirilmesi, in vitro üretim sistemlerinin verimliliğini belirleyen temel faktörlerden biridir (Chaouch vd., 2023).

Mikroçoğaltım süreçlerinde başarıyı artırmak amacıyla, kültür ortamına bitki büyüme düzenleyicileri olan sitokininler ve oksinler eklenmektedir. Bu fitohormonlar, kültüre alınan eksplantların morfolojik yönlendirilmesini ve organogenez süreçlerini doğrudan etkilemektedir. Son yıllarda biyostimülant özelliğe sahip bitki ve alg ekstraktları, in vitro koşullarda bitki gelişimini destekleyici ajanlar olarak dikkat çekmektedir. Bitki özütleri, doğal yapılarında yer alan fenolik bileşikler, flavonoidler, alkaloidler, terpenoidler ve uçucu yağlar sayesinde antifungal, antibakteriyel ve antioksidan özellikler gösterebilmektedir. Bu bileşikler sayesinde, doku kültüründe yetiştirilen bitkilerin hücre yenilenmesi, metabolik aktivitesi ve çevresel streslere karşı toleransı artırılabilir (Aminifard vd., 2012).

Her ne kadar bu doğal bileşenlerin ilaç, kozmetik ve gıda sektöründeki kullanımları yaygın olarak belgelenmiş olsa da, tarımsal

biyostimülant olarak potansiyelleri üzerine yapılan çalışmalar hâlen sınırlıdır. Sürdürülebilir tarım uygulamaları çerçevesinde, kimyasal girdilerin azaltılması ve çevre dostu alternatiflerin yaygınlaştırılması amacıyla, bitki bazlı biyostimülantlara dayalı yeni nesil biyoteknolojik ürünlerin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, in vitro bitki üretiminde doğal ekstraktların kullanımı, hem çevresel açıdan güvenli hem de ekonomik olarak uygulanabilir alternatifler sunmaktadır.

Biyostimülantların Kuraklık Stresine Karşı Kullanımı ve Su Kullanım Etkinliğinin Geliştirilmesinde Doku Kültürü Uygulamalarının Rolü

Günümüzde iklim değişikliğine bağlı olarak artan kuraklık stresleri, tarımsal üretimi tehdit eden en önemli abiyotik stres faktörlerinden biri haline gelmiştir. Özellikle su kıtlığı, bitkilerin fizyolojik, biyokimyasal ve morfolojik gelişimini olumsuz etkileyerek verim kayıplarına yol açmaktadır. Bu nedenle, bitkilerin su kullanım etkinliğini artıran ve kuraklığa karşı dayanıklılığını geliştiren stratejilerin araştırılması, sürdürülebilir tarımın devamlılığı açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, son yıllarda biyostimülantlar, bitkilerin kuraklık stresine adaptasyonunu destekleyen doğal ve çevre dostu ajanlar olarak öne çıkmaktadır. Biyostimülantlar; bitkilerde ozmotik dengeyi koruma, hücre zarlarının stabilitesini artırma, antioksidan enzim aktivitelerini tetikleme ve hormonal dengeyi düzenleme gibi yollarla kuraklık toleransını iyileştirmekte önemli

roller üstlenmektedir. Özellikle humik asitler, deniz yosunu ekstraktları, protein hidrolizatları ve mikrobiyal inokulantlar, stomatal açıklığın düzenlenmesi ve su tutma kapasitesinin artırılması yoluyla su kullanım verimliliğini optimize etmekte etkili olabilmektedir. Aynı zamanda bu bileşenler, kök gelişimini destekleyerek bitkilerin toprak içerisindeki suya daha etkin erişimini sağlamaktadır (Ruzzi vd., 2024).

Bu gelişmeler ışığında, doku kültürü teknikleri, biyostimülantların kuraklık stresi altındaki etkilerinin kontrollü ortamda test edilmesine ve iyileştirici uygulamaların erken aşamada belirlenmesine olanak tanıyan güçlü bir araç olarak kullanılmaktadır. İn vitro koşullarda oluşturulan kuraklık simülasyonları (örneğin, PEG veya mannitol ile su potansiyelinin düşürülmesi) altında, farklı biyostimülantların bitki eksplantları üzerindeki etkileri detaylı şekilde incelenebilmektedir. Bu sayede, biyostimülant uygulamaları sonucunda kök ve sürgün gelişimi, canlılık oranı, klorofil içeriği, prolin birikimi ve antioksidan enzim aktivitesi gibi stresle ilişkili parametrelerdeki değişimler erken dönemde değerlendirilebilmektedir. Ayrıca, mikropropagasyon sürecinde kullanılan kültür ortamına biyostimülantların eklenmesi, in vitro koşullarda yetiştirilen bitkilerin daha güçlü kök ve sürgün sistemleri geliştirmesine, dolayısıyla dış ortama aktarım sürecinde kuraklık gibi çevresel streslere karşı daha dirençli hale gelmesine katkı sağlamaktadır. Bu da, özellikle hassas veya yüksek ekonomik değere sahip türlerde, biyostimülant destekli mikroçoğaltım protokollerinin geliştirilmesini ön plana çıkarmaktadır. (Carillo vd., 2025). Biyostimülantların kuraklık stresini hafifletici

etkileri ile doku kültürü tekniklerinin hassas ve tekrarlanabilir yapısı birleştirildiğinde, bitkilerin stres koşullarına karşı daha dayanıklı fenotiplerinin seçimi, geliştirilmesi ve çoğaltımı mümkün hale gelmektedir. Bu yaklaşım, sadece laboratuvar ölçeğinde kalmayıp, gelecekte iklim değişikliğine dayanıklı çeşitlerin ticarileştirilmesi ve sürdürülebilir üretim sistemlerinin kurulması açısından da büyük potansiyele sahiptir (Fatih vd.,2022).

SONUÇ

Biyostimülantlar, bitki doku kültürü sistemlerinde yalnızca klasik büyüme düzenleyicilerin yerine geçebilecek alternatif maddeler değil, aynı zamanda fizyolojik ve biyokimyasal süreçleri hedef alarak hücresel düzeyde regülasyon sağlayan biyolojik ajanlar olarak dikkat çekmektedir. Mikrobiyal inokulantlar, hümik ve fulvik asitler, protein hidrolizatları, amino asit türevleri ve deniz yosunu ekstraktları gibi farklı kaynaklardan elde edilen biyostimülantlar, in vitro koşullarda kültüre alınan bitkisel eksplantlarda morfogenez, organogenez, köklenme, sürgün proliferasyonu ve rejeneratif kapasite üzerinde pozitif etkiler göstermektedir. Özellikle abiyotik stres koşullarında örneğin kuraklık, tuzluluk, düşük su potansiyeli veya besin yetersizliği bu ajanların, oksidatif stres göstergelerini düşürdüğü, antioksidan savunma sistemlerini aktive ettiği, endojen fitohormon dengesini kontrol ettiği ve osmotik dengeyi sağladığı bilimsel çalışmalarda gösterilmiştir. Ayrıca, bu bileşiklerin su kullanım etkinliği, prolin ve çözünür şeker birikimi, kök sistem mimarisi ve hücre bölünme hızları

üzerinde de olumlu etkileri bulunmaktadır. Biyostimülantlar, klasik sentetik büyüme düzenleyicilerden farklı olarak çevreye daha duyarlı, kalıntı bırakmayan ve genotoksik olmayan özellikleri sayesinde sürdürülebilir tarımsal biyoteknoloji uygulamaları açısından önem taşımaktadır. Doku kültürü ortamına uygun doz, pH, konsantrasyon ve kombinasyonlarla entegre edildiklerinde, biyostimülantların yalnızca kültür başarısını artırmakla kalmayıp, aynı zamanda ex vitro adaptasyon sürecinde bitkilerin çevresel stres faktörlerine karşı dayanımını güçlendirdikleri gösterilmiştir. Bu bağlamda, biyostimülant temelli uygulamaların, özellikle ekonomik değeri yüksek, nadir ve üretimi zor bitki türlerinin in vitro çoğaltımı ve uzun vadeli adaptasyonu için stratejik bir tamamlayıcı ya da alternatif protokol bileşeni olarak değerlendirilmesi mümkündür. Gelecekte yapılacak moleküler düzeyde çalışmalar, bu maddelerin gen ekspresyonu, sinyal yolları ve metabolik ağlar üzerindeki etkilerini daha net ortaya koyarak, doku kültürü teknolojilerinde biyostimülantların standardize kullanımını mümkün kılacaktır.

KAYNAKÇA

- Akdağ, N., Sancak, C., & Kahramanoğulları, C. T. (2024). Biostimulants for sustainable agriculture in forage crops. *Soil Studies*, 13(2), 118-129.
- Aloni, R., Aloni, E., Langhans, M., & Ullrich, C. I. (2006). Role of cytokinin and auxin in shaping root architecture: regulating vascular differentiation, lateral root initiation, root apical dominance and root gravitropism. *Annals of botany*, 97(5), 883-893.
- Ambros, E., Trofimova, E., & Novikova, T. (2020). Effect of silicon chelates from plant raw materials on some physiological parameters in strawberry under in vitro conditions. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 224, p. 04016). EDP Sciences.
- Aminifard, M. H., Aroiee, H., Nemati, H., Azizi, M., & Jaafar, H. Z. (2012). Fulvic acid affects pepper antioxidant activity and fruit quality. *African Journal of Biotechnology*, 11(68), 13179-13185.
- Anjum, S. A., Farooq, M., Wang, L. C., Xue, L. L., Wang, S. G., Wang, L., ... & Chen, M. (2011). Gas exchange and chlorophyll synthesis of maize cultivars are enhanced by exogenously-applied glycinebetaine under drought conditions.
- Brown, P., & Saa, S. (2015). Biostimulants in agriculture. *Frontiers in plant science*, 6, 671.
- Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and soil*, 383(1), 3-41.

- Canellas, L. P., Olivares, F. L., Aguiar, N. O., Jones, D. L., Nebbioso, A., Mazzei, P., & Piccolo, A. (2015). Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia horticultruae*, 196, 15-27.
- Carillo, P., Avice, J. C., Vasconcelos, M. W., Du Jardin, P., & Brown, P. H. (2025). Biostimulants in Agriculture. *Physiologia Plantarum*, 177(1).
- Chaouch, R., Kthiri, Z., Soufi, S., Jabeur, M. B., & Bettaieb, T. (2023). Assessing the biostimulant effect of micro-algae and thyme essential oil during in-vitro and ex-vitro rooting of strawberry. *South African Journal of Botany*, 162, 120-128.
- Elena, A., Diane, L., Eva, B., Marta, F., Roberto, B., Zamarreño, A. M., & García-Mina, J. M. (2009). The root application of a purified leonardite humic acid modifies the transcriptional regulation of the main physiological root responses to Fe deficiency in Fe-sufficient cucumber plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 47(3), 215-223.
- El-Zohiri, S. S. M., & Asfour, Y. M. (2009). Effect of some organic compounds on growth and productivity of some potato cultivars. *Annals of Agric Sci Moshtohor*, 47(3), 403-415.
- Fatih, Ş. E. N., Eroğul, D., & Altuntaş, Ö. (2022). Yapraktan farklı biyostimülant uygulama programlarının ‘0900 Ziraat’kiraz meyvelerinin kalitesi ve hasat sonrası dayanımına etkisi. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 6(2), 375-386.

- Fay, M. F. (1994). In what situations is in vitro culture appropriate to plant conservations?. *Biodiversity & Conservation*, 3(2), 176-183.
- Kayın, N., & Turan, F. (2023). Bitki Doku Kültürünün Biyoteknolojik Olarak Kullanımı. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 4(1), 1-10.
- Kumar, N., & Reddy, M. P. (2011). In vitro plant propagation: a review. *Journal of forest and environmental science*, 27(2), 61-72.
- Külahtaş, B., & Çokuysal, B. (2016). Biyostimulantların sınıflandırılması ve Türkiye'deki durumu. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 31(3), 185-200.
- Ronga, D., Biazzi, E., Parati, K., Carminati, D., Carminati, E., & Tava, A. (2019). Microalgal biostimulants and biofertilisers in crop productions. *Agronomy*, 9(4), 192.
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Biostimulants in agriculture. *Frontiers in plant science*, 11, 40.
- Ruzzi, M., Colla, G., & Rouphael, Y. (2024). Biostimulants in agriculture II: towards a sustainable future. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1427283.
- Taghizadeh, M., Solgi, M., & Shahrjerdi, I. (2016). Essential oil as an alternative to chemical antimicrobial agent for the culture of strawberry in vitro.
- Taji, A., Kumar, P., & Lakshmanan, P. (2024). *In vitro plant breeding*. CRC Press.

BÖLÜM 4

BİTKİLERİN KURAKLIK STRESİNE TOLERANSI VE GERİ KAZANIM (İYİLEŞME) MEKANİZMALARI

Dr. Meral DOĞAN

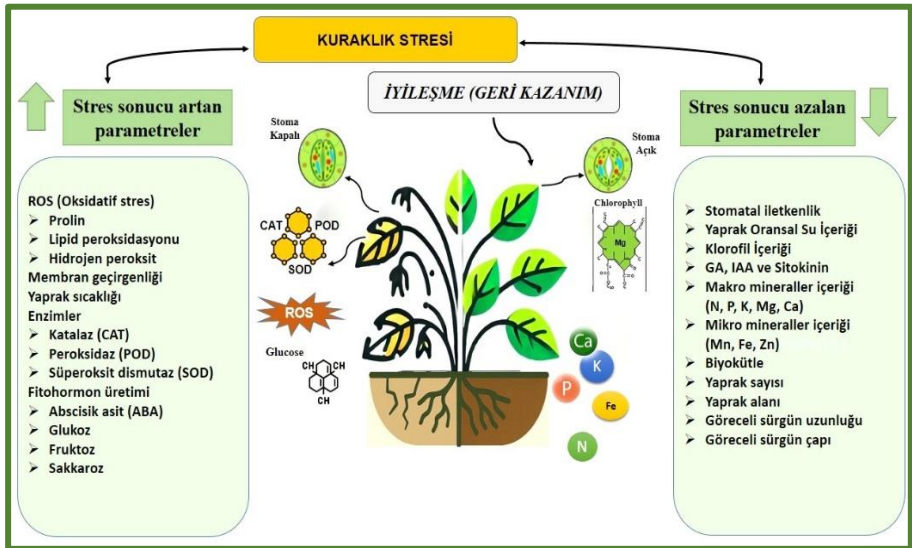
GİRİŞ

Canlı bir organizma üzerinde çevresel koşullarda ortaya çıkan stres durumlarında bazı biyolojik değişimlerin meydana gelmesi kaçınılmazdır. Bu biyolojik değişim; bitkilerde metabolik süreçlerdeki değişiklikler ile morfolojik yapılarda gözlenen bozulmalar ve büyüme hızındaki düşüş şeklinde kendini gösterir. Eğer bir bitki, içinde bulunduğu çevresel koşullara yüksek düzeyde uyum sağlayabiliyorsa, henüz stres oluşturan durumlardan belirgin şekilde etkilenmediği anlaşılr. Ancak çevresel faktörlerde meydana gelen ve optimum sınırların dışına çıkan sapmalar, bitkinin fizyolojik yanıtlarında değişimlere neden oluyorsa, bu durum artık stres olarak tanımlanır (Hirayama ve Shinoza, 2010). Abiyotik stres, canlı olmayan çevresel faktörlerin bitki bünyesinde yarattığı olumsuz etkileri ifade eder ve tarımsal üretimde verimliliği sınırlayan temel unsurlar arasında yer alır. Bu stresler arasında kuraklık, tuzluluk, yüksek sıcaklık (termal stres) ve düşük sıcaklık (don) gibi faktörler bulunur (Wasternack, 2007). Bitkilerin stres etmenlerine maruz kalması, su potansiyeli, iyon dengesi, fotosentetik kapasite, protein sentezi ve zar stabilitesi gibi temel fizyolojik ve biyokimyasal işlevlerde ciddi bozulmalara yol

açar. Kuraklık stresi, tarımsal üretimi sınırlayan en yaygın ve etkili çevresel faktörlerden biri olup, bitkilerin büyüme, gelişme ve verim potansiyelini doğrudan tehdit etmektedir. Özellikle küresel iklim değişikliğine bağlı olarak artan sıcaklıklar ve düzensiz yağış rejimleri, kuraklık olaylarının sıklığını ve şiddetini giderek artırmakta, bu durum hem doğal ekosistemlerde hem de tarımsal alanlarda ciddi sorunlara yol açmaktadır (Teuling vd., 2013). Kuraklık, bitkilerde su dengesini bozarak fotosentezden solunuma, hücre bölünmesinden gen ekspresyonuna kadar birçok hayati süreci olumsuz etkiler. Bu nedenle, kuraklık stresinin fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler düzeyde bitki üzerindeki etkilerinin anlaşılması, stresle başa çıkma stratejilerinin geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Farklı kuraklık kaynakları altında bitkilerin verdiği tepkilerin, etkilenme süreleri, dayanıklılık mekanizmaları ve hücre ile gen düzeyindeki savunma sistemlerinin ortaya konulması, hem bitkisel üretimin sürdürülebilirliği hem de gelecekteki gıda güvenliğinin sağlanması için kritik bir gerekliliktir. Bu bağlamda, kuraklık stresine dayanıklı bitki çeşitlerinin geliştirilmesi ve mevcut tarım sistemlerinin bu zorlu koşullara adapte edilmesi, yaşam kalitesinin devamlılığı açısından vazgeçilmezdir (Sağlam, 2004; Ruiz-Lozano vd., 2012). Geri kazanım kavramı, stres ortadan kalktıktan sonra bitkinin yeniden denge kurması, metabolik aktivitelerini toparlaması ve gelişme faaliyetlerine devam edebilme kapasitesini tanımlar. Ancak literatürde ve yapılan araştırmalarda bu kritik süreç genellikle ihmal edilmekte, bitkilerde stres anına odaklanılmakta; stres sonrası dönem yeterince incelenmemektedir (Carnicer vd., 2011; Örs ve Ekinci, 2015).

Bitkilerin stres fizyolojilerinin incelenmesi; türlerin biyocoğrafik dağılım sınırlarının anlaşılmasına, kültür bitkilerinde verimliliği artırmaya yönelik çalışmalara ve bitki metabolizmasının işleyişine dair bilgi birikimine önemli katkılar sağlar (Kosova vd., 2011; Korkmaz ve Durmaz, 2017).

Bundan dolayı konunun daha iyi anlaşılması için, abiyotik stres faktörlerini ve bitkilerin geliştirdikleri cevapları, mümkün olduğunca kategorize ederek açıklamak gerekmektedir. Bu yaklaşımla çalışmamızda, abiyotik streslerin bitkiler üzerindeki etkileri daha bütüncül bir bakış açısıyla sunulmuş ve bitkilerin stres toleransı ile stres sonrası geri kazanım süreci ele alınmıştır.



Şekil 1. Bitkilerin kuraklık stresine verdiği tepkiler ve iyileşme

Kuraklığa Tolerans Mekanizmaları

Kuraklık stresine verilen tepkiler bitki türleri, çeşitleri ve hatta farklı bitki organları arasında belirgin fizyolojik ve metabolik farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar, büyük ölçüde genetik yapıya bağlıdır. Yani bir bitkinin kuraklığa karşı dayanıklılık düzeyi, sahip olduğu metabolik adaptasyon mekanizmalarına bağlı olarak farklılık gösterebilir. Kuraklığa karşı hassas olan bitkilerde, özellikle vejetatif dokularda su içeriği düştüğünde, geri dönüşü mümkün olmayan fizyolojik zararlar meydana gelebilmektedir. Bitkinin stres eşik değeri aşıldığında, bitkinin toparlanma şansı büyük ölçüde ortadan kalkar ve büyük zararlanmalar meydana gelmektedir (Hazen vd.,2005). Bitki, ihtiyaç duyduğu suyu alamadığında fizyolojik bir stres yaratmaya başlar ve su kaybını en aza indirmek veya su alımını artırmak gibi çeşitli savunma mekanizmaları geliştirir. Bu adaptif tepkilerin ardından bitkide gözlenen ilk etki, hücrelerin turgor basıncını kaybetmesidir. Terleme yoluyla yapraklardan kaybedilen suyun, kökler aracılığıyla yeterince telafi edilememesi durumunda, hücreler su kaybına bağlı olarak plazmoliz geçirir. Bunun sonucunda yaprak dokuları gevşer ve bitki kıvrılma (büzüşme) belirtileri göstermeye başlar (Rahdari ve Hoseini, 2012; Örs ve Ekinci, 2015). Su eksikliği, bitkilerde vejetatif büyümenin azalmasına neden olmaktadır. Gövde ve yaprak gelişimi, su stresine kök gelişimine kıyasla çok daha hassas tepki verir. Kuraklığın başlangıç dönemlerinde, bitkiler suya ulaşımı artırmak amacıyla gövde uzamasını sınırlandırırken kök büyümesini teşvik eder. Bununla

birlikte, sadece gövde uzunluğu değil, ana gövde kalınlığı da kuraklık koşullarından olumsuz etkilenmektedir; Eğer kuraklık süreci uzarsa, hem gövde hem de kök gelişimi ciddi şekilde durur. Yaprak sayısı ve yüzey alanı azalır, bazı yapraklar ise sararıp dökülür. Kuraklık altında gelişen bitkiler, optimum koşullarda olanlara kıyasla genellikle daha küçük hacimli olur. Bitki büyümesindeki azalma, genellikle sürgün ve kök uçlarındaki meristem dokularda hücre bölünmesi ve genişlemesinin durmasıyla açıklanır (Mundrevd., 2002). Domates bitkisine uygulanan farklı kuraklık senaryoları sonucunda elde edilen bulgulara araştırmacılar, kuraklık stresinin domatesin bazı morfolojik özelliklerini anlamlı düzeyde etkilediğini, buna karşılık tohum verim ve kalitesi üzerinde sınırlı düzeyde etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle bitki boyu, yaprak sayısı ve meyve sayısı gibi büyüme ile ilişkili parametrelerde anlamlı düşüşler gözlemlenmiş, bu durum kuraklık stresinin bitki gelişimini baskıladığını açıkça ortaya koymuştur (Pervez vd., 2009). Bu hücreyel faaliyetlerin durmasına ise doğrudan fotosentez oranındaki düşüş neden olur. Kuraklık koşullarında fotosentez oranı, terleme hızı, stomaların iletkenliği ve su kullanım verimliliği önemli ölçüde azalır. Su stresiyle birlikte bitki hücreleri zarar görür; özellikle yapraklarda su kaybının artması stomaların kapanmasına neden olur. Bu durum yaprak sıcaklığının yükselmesine, membran yapıların tahrip olmasına ve hücre ölümüne yol açar. Hücre içindeki suyun azalması plazma zarının yapısında değişimlere neden olur. Su kaybı sonucunda hücre hacminde azalma meydana gelir; bu da plazma membranının baskı altında kalarak çökmesine ve yırtılmasına neden olabilir. Bu tür yapısal zararlar,

çoğunlukla hücrel metabolizmanın geri döndürülemez biçimde bozulmasına neden olur. Bitkiler, su stresini algıladıkları anda devreye giren ilk adaptasyon mekanizmalarından biri olarak, su kaybını sınırlandırmak amacıyla stomalarını daraltır ya da tamamen kapatır. Fotosentez hızı, yapraklardaki stomalar aracılığıyla alınan karbondioksit miktarı ile doğrudan ilişkilidir. Ancak stomaların açık olması, aynı zamanda buharlaşma yoluyla su kaybını da artırır. Bu nedenle, kuraklık koşullarında bitkiler, su kaybını azaltmak için stomalarını hızlı bir şekilde kapatma eğilimindedir. Bunun sonucunda, yaprak dokularına giren karbondioksit miktarı azalır ve buna paralel olarak fotosentez oranında düşüş meydana gelir. Üç farklı çilek çeşidinin ('Elsanta', 'Elkat' ve 'Salut') kuraklık stresine karşı tepkilerinin değerlendirildiği çalışmada. Kuraklık, bitki gelişimi ve meyve verimi üzerinde önemli kısıtlayıcı etkiler yaratmasına rağmen, çeşitler arasında gözlemlenen farklı tolerans seviyeleri, genetik faktörlerin su stresi altında belirleyici bir rol oynadığını ortaya koymuştur (Klamkowski ve Treder, 2008). Kuraklık koşulları, bitki hücrelerinin turgor basıncında yani su potansiyelinde azalmaya yol açarak hücrel dengeyi bozmaktadır. Bu stresin bitki büyümesi üzerindeki temel etkisi çoğunlukla ozmotik basınçla ilişkilendirilir. Kuraklık stresinden minimum düzeyde etkilenebilmesi için bir bitkinin, kök çevresindeki ozmotik basınç değişimlerine karşı kendi içsel ozmotik durumunu ayarlayabilme yeteneğine sahip olması gerekir. Bu durum "ozmotik uyum" olarak adlandırılmakta olup, bitkilerin hayatta kalabilmek adına geliştirdikleri önemli bir adaptasyon mekanizmasıdır. Bitkiler, toprak çözeltisinden belirli

iyonları alarak ya da çeşitli organik bileşikler sentezleyerek hücre içindeki su kaybını azaltmayı amaçlar. Bu süreçte görev alan ve genellikle “ozmolit” olarak tanımlanan çözünen maddeler (amino asitler, prolin, glisin vb) hücre içi turgor basıncının korunmasına katkıda bulunur. Osmolitler, yapraktaki su basıncını dengeleyerek stomaların iletkenliğini artırır, fotosentezin devamını sağlar ve dolayısıyla büyüme sürecini destekler. Kuraklık koşullarında bu tür bir ozmotik denge kurabilen bitkiler, kısa süreli stres dönemlerinde su dengesini ve temel metabolik aktivitelerini belirli bir düzeyde sürdürebilir. Ancak stresin uzun süre devam etmesi halinde, ozmolitlerin birikimi artık turgor kaybını telafi edemez hale gelir ve bitki su eksikliğine bağlı olarak fizyolojik zararlar görmeye başlar. Tsegay vd., (2014) ‘nin asmanın kuraklığa dayanıklılığın altında yatan mekanizmaları incelendiğinde; kök sisteminin derinliği ve lateral yayılımı gibi anatomik özellikler ile ksilem yapısı, su taşıma kapasitesi açısından belirleyici olmaktadır. Ayrıca, stomaların su stresine karşı tepkisi, yani stomaların açık veya kapalı kalma süresi, transpirasyon oranını ve dolayısıyla fotosentez etkinliğini doğrudan etkilemektedir. Anaçların bu düzeydeki fizyolojik kontrolleri, kuraklık koşullarında hem hayatta kalma hem de üretkenliği sürdürme açısından önemli olduğunu belirtmişlerdir. Kuraklık stresinin oluşturduğu diğer önemli etkilerden biri de reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikimidir. Fotosentez oranındaki düşüşe bağlı olarak oluşan bu reaktif türler – özellikle tekli oksijen, süperoksit anyonu ve hidrojen peroksit– hücre metabolizmasının yan ürünleri olup, aynı zamanda stres sinyallemede görev alırlar. Bu moleküllerin

kontrollü bir şekilde azaltılması ve zararlı birikimlerinin engellenmesi, bitkilerin kuraklık stresine karşı geliştirdiği savunma mekanizmaları arasında yer almaktadır. Fotosentez hızı, stomaların açılıp kapanma dinamikleri ve yaprak yüzey alanının genişlemesi gibi temel fizyolojik ve morfolojik süreçlerin, yaprak turgor potansiyelindeki azalmayla doğrudan bağlantılı olduğu ortaya konmuştur. Arndt vd (2001) 'nin *Ziziphus rotundifolia* da yaptığı çalışmada stres ilerledikçe, tam turgordaki ozmotik potansiyelin azalması ve çözünmüş madde konsantrasyonlarının artması, bitkide belirgin bir osmotik adaptasyonun gerçekleştiğini göstermektedir. Aynı zamanda, yaprak nişasta düzeylerinde gözlenen azalma ve heksoz şekerleri ile sakkaroz düzeylerindeki artış, karbonun çözünür formlara yönelerek metabolik aktivitenin devamını sağlamaya yönelik bir strateji olduğunu düşündürmektedir. Bu durum, stres koşullarında karbon metabolizmasının yeniden yapılandırıldığını ve hayati fizyolojik süreçlerin sürdürülebilirliğinin sağlandığını ortaya koymaktadır. Kuraklık şiddetinin artmasıyla birlikte yaprak dokularında oransal su içeriğinin azaldığı da belirlenmiştir. Bu nedenle, yaprağın su içeriği, bitkilerin kuraklık stresine karşı gösterdiği fizyolojik tepkileri anlamada önemli bir gösterge olarak değerlendirilebilir. Ayrıca, yaprak dokularındaki iyon birikimi de kuraklık stresine karşı bitki dayanıklılığı hakkında önemli bilgiler sunabilir. Kurak koşullara uyum sağlamış bitki çeşitlerinin, duyarlı olanlara kıyasla gövde dokularında daha az miktarda iyon depoladığı bilinmektedir. İnorganik iyonlar ile birlikte bazı organik ozmolitlerin birikimi, bitkinin kuraklık koşullarında oluşturduğu savunma mekanizmaları arasında yer

almaktadır (Farooq vd., 2012; Örs ve Ekinici, 2015). Tolerant anaçlar üzerine aşılı ticari çeşitlerde kuraklık stresi çalışmasında; kısa süreli su stresine maruz kalan aşılı biber bitkilerinde, A25 gibi toleranslı bir anaç kullanımıyla kuraklık stresine karşı gelişen fizyolojik yanıtlar değerlendirilmiştir. Bulgular, A25 anacının stres koşullarında büyüme, gaz değişimi ve oksidatif hasarı sınırlama açısından belirgin bir koruyucu etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle A25 anacı üzerine aşılı bitkiler (A/A25), daha büyük bir kök biyokütlesine sahip olmuş, bu durum su alımı ve tutma kapasitesinin artırılmasını sağlamıştır. Bu avantaj, CO₂ asimilasyonunun daha uzun süre korunmasına katkı sağlamış ve sonuçta karbon dengesi lehine gelişmiştir. Bu bitkilerde yapraklarda daha yüksek nitrat redüktaz aktivitesi gözlemlenmiş, bu da azot metabolizmasının stres koşullarında bile etkin şekilde sürdürüldüğünü göstermektedir. Nitrat redüktaz, protein sentezi ve büyüme ile doğrudan ilişkili olduğundan, bu bulgu A25'in metabolik dayanıklılığı artırma kapasitesini göstermektedir. Diğer yandan, aşısız (A) ve oto-aşılı (A/A) bitkilerde stomatal kapanma sonucu fotosentez oranı ciddi oranda azalmış, bu durum transpirasyonun sınırlanmasına ve kökler üzerinden NO₃⁻ alımının azalmasına yol açmıştır. Bu fizyolojik daralma, CO₂ fiksasyonunun engellenmesiyle birlikte enerji üretimini kısıtlamış ve oksidatif stresin şiddetlenmesine neden olmuştur. Özellikle bu gruplarda yapraklarda artan reaktif oksijen türleri (ROS) ve H₂O₂ birikimi, hücre zarlarında lipid peroksidasyonuna neden olarak kuraklığa duyarlılığı gözler önüne sermiştir. Aşısız bitkiler (A) ve oto-aşılılar (A/A) arasında ise A'nın biraz daha az zarar görmesi, oto-

aşının fizyolojik yük getirmiş olabileceğini düşündürmektedir. A25 anacının stres koşullarında skiyona (üst kısma) sağladığı koruma, yalnızca su alımıyla sınırlı kalmamış; aynı zamanda oksidatif hasarın azaltılması, karbon ve azot dengesinin sürdürülebilirliği gibi çok yönlü bir fizyolojik destek sunmuştur. Bu da A/A25 kombinasyonunun kısa süreli şiddetli su stresine karşı daha dirençli bir yapı sergilemesini sağlamıştır. A25 gibi kuraklığa dayanıklı anaçların, skiyonun fizyolojik stabilitesini koruma, oksidatif stresi hafifletme ve fotosentetik aktiviteyi sürdürme yoluyla stres toleransını önemli ölçüde artırdığı görülmüştür. Bulgular, aşılı sebze üretiminde uygun anaç seçiminin yalnızca verim artışı değil, aynı zamanda çevresel stres faktörlerine karşı dayanıklılığı da optimize edebileceğini göstermektedir. A25 anacı gibi genotipler, hem kısa süreli hem de muhtemelen uzun süreli kuraklık senaryoları için fizyolojik dayanıklılık temelli seçim çalışmalarına ışık tutacak potansiyele sahiptir. Kuraklık stresine karşı bitkisel dayanıklılığın anlaşılmasında genetik mekanizmaların ortaya konulması büyük önem taşımaktadır (López-Serrano vd., 2019). Kuraklık ile ilgili diğer bir çalışmada da Carrizo citrange (Carr) ve Cleopatra mandarin (Cleo) fidanlarının kısa süreli kuraklık ve su baskınına karşı verdikleri fizyolojik ve metabolik yanıtlar, genotipler arasında belirgin farklılıklarını göstermiştir. Her iki türde de minimum gövde su potansiyeli benzer olsa da, Cleo daha yüksek yaprak su içeriği (RWC) ve ozmotik potansiyel ile su dengesini daha iyi korumuştur. Bu durum, Cleo'nun stres koşullarında daha etkili osmotik uyum sağladığını göstermektedir. Kuraklık, her iki türde de fotosentez oranını düşürmüştür, ancak bu etki Carr'da daha

belirgin olmuştur. Cleo, gaz değişimini ve su kullanım etkinliğini (WUE) daha uzun süre koruyabilmiş, bu da onun daha toleranslı bir genotip olduğunu göstermektedir. Artan intersellüler CO₂ (Ci) düzeyleri, fotosentezdeki sınırlamaların stomalardan çok metabolik nedenlere, özellikle klorofil yıkımı ve fotosistem II'nin zarar görmesine bağlı olduğunu düşündürmektedir. Her iki türde de yapraklarda prolin düzeyi yalnızca kuraklıkla artarken, köklerde hem kuraklık hem de su baskını prolin birikimini artırmıştır. Kuraklık ayrıca yapraklarda çözünür şekerleri artırmış, buna karşın su baskını özellikle Cleo'da bu şeker düzeylerini azaltmıştır. Mineral içerik bakımından, kuraklık yaprak ve köklerde Ca, K, Mg, Na ve Cl birikimini artırırken, su baskını bu iyonları genel olarak azaltmıştır. Genel olarak Cleo, hem kuraklık hem de su baskınına karşı Carr'dan daha iyi su dengesi, fotosentetik aktivite ve metabolik stabilite göstermiştir. Bu üstünlük, onun stres toleransı yüksek anaç olarak kullanılma potansiyelini desteklemektedir (García-Sánchez vd.,2007). Abiyotik streslere karşı bitkiler, biyotik streslerden farklı olarak çok sayıda genin koordineli olarak birlikte çalışarak karmaşık tepkiler geliştirir. Bu nedenle, kuraklık stresine toleransta görevli aday genlerin tanımlanması ve işlevsel analizi, dayanıklı genotiplerin geliştirilmesi açısından kritik bir adımdır. Kuraklık stresine yanıt olarak aktive edilen genler iki ana gruba ayrılır: erken ve geç yanıt genleri. Erken yanıt genleri, stres sinyallerini algıladıktan hemen sonra aktive olur ve genellikle önceden mevcut sinyal bileşenleriyle çalışır. Bu genler aynı zamanda geç yanıt genlerini düzenleyen transkripsiyon faktörlerinin üretiminde de görev alır. Geç yanıt genleri ise daha kalıcı

yanıtların oluşmasını sağlar ve kuraklıkla ilişkili koruyucu proteinlerin sentezinden sorumludur. Bunlar arasında su kanalı proteinleri, osmotik dengeyi sağlayan enzimler, şaperonlar, detoksifikasyon enzimleri ve LEA proteinleri gibi savunma bileşenleri bulunur. Kuraklıkla ilişkili genler sadece koruyucu proteinlerin üretimini değil, aynı zamanda sinyal iletim yollarının düzenlenmesini de sağlar. Böylece bitki, stres koşullarında daha uzun süre hayatta kalabilir. Bu genetik yapıların anlaşılabilmesi için günümüzde çeşitli moleküler teknikler kullanılmaktadır. (Yüksel ve Aksoy, 2017). Özellikle CRISPR-Cas9 gibi hassas genom düzenleme teknolojilerinin, kuraklığa dayanıklı bitki çeşitlerinin geliştirilmesinde devrim niteliğinde katkılar sunduğu belirtilmiştir. Bu teknoloji sayesinde, spesifik stresle ilişkili genlerin hedeflenerek düzenlenmesi mümkün olmakta; bu da klasik ıslah yaklaşımlarına göre çok daha kısa sürede yüksek verimli ve stres toleranslı genotiplerin geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca mikrobiyal biyoteknoloji, özellikle bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler (PGPR) ve mikoriza mantarları gibi yararlı mikroorganizmaların kullanımıyla, bitkilerin su alımı, hormonal düzenleme ve oksidatif stresle başa çıkma kabiliyetini artırarak kuraklık toleransına katkı sağlamaktadır. Bu simbiyotik ilişkiler, bitki kök sistemini daha işlevsel hâle getirerek su ve besin alım verimliliğini desteklemektedir (Şimşek vd., 2024). Jiménez vd .,(2013)'nin anaçlarla ilgili yaptıkları çalışmada kuraklık ilerledikçe yaprak ve kök dokularında çözünür şekerler ile prolin seviyelerinde önemli değişiklikler olduğu gözlemlenmiştir. Prolin birikimi, osmotik potansiyelin düşmesiyle birlikte hem kök hem de yaprak dokularında

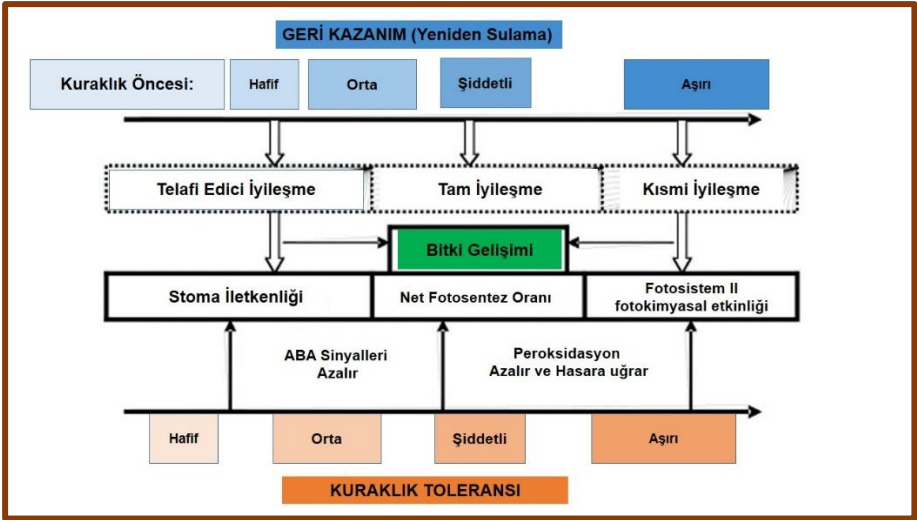
artış göstermiştir. Bu birikim, prolinin yalnızca bir osmolitle sınırlı kalmayıp aynı zamanda hücrel su dengesinin korunması ve enzim/protein stabilizasyonu gibi çok yönlü roller üstlendiğini göstermektedir. Bununla birlikte, düşük konsantrasyonda olmasına rağmen, prolinin yanı sıra sorbitol ve raffinose'un da özellikle ileri düzey stres aşamasında biriktiği tespit edilmiştir. Bu bileşiklerin antioksidan özellikleri nedeniyle, aktif osmolitleştirme yerine hücrel hasarı sınırlama yönünde bir koruyucu rol üstlendikleri düşünülmektedir. Çalışmada genotipler arasında kuraklık stresine verilen yanıtlar farklılık göstermiştir. Toleransı yüksek olarak belirlenen GF 677 anacında kök dokularda P5SC geninin daha yüksek düzeyde ifade edilmesi, bu genin prolin biyosentezindeki rolüyle paralel şekilde, biyokimyasal uyumun moleküler bir göstergesi olarak değerlendirilebilir. Bu bulgu, P5SC ekspresyon düzeyinin, stres toleransı taramalarında kullanılabilecek potansiyel bir moleküler belirteç (marker) olabileceğini düşündürmektedir.

Geri Kazanım Mekanizmaları

Son yıllarda etkisi gittikçe artan küresel ısınma, yüksek sıcaklık ve buna bağlı olarak ortaya çıkan kuraklık ile önemini arttırmaktadır. Bu nedenle bitki yetiştiriciliğinde bu faktörlerin etkilerinin türler hatta çeşitler bazında araştırılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Özellikle kısa süreli iklim değişikliklerinin giderek artması bitkilerin yetiştirildiği ortama adaptasyonlarını zorlaştırmaktadır. Bitkilerde stres anındaki tepkiler kadar, stres sonlandıktan sonraki geri kazanım (iyileşme)

süreçleri de tarımsal sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır. Kuraklık döneminden sonra yeniden sağlanan suya erişim, bitkinin fizyolojik işlevlerini ne ölçüde geri kazanabileceğini belirleyen kritik bir aşamadır (Gallé vd., 2007). Geri kazanımın başarısı, stres sırasında meydana gelen hasarın düzeyine, stres süresine, tür ve genotip özelliklerine, suyun yeniden verilme hızına ve çevresel koşullara bağlı olarak değişebilmektedir. Birçok bitki türü, kuraklık gibi çevresel stresler sonucu meydana gelen biyokütle kayıplarının ardından vejetatif olarak yeniden sürgün verme (resprouting) yeteneğine sahiptir (Xu vd., 2010). Bu strateji, özellikle yangın, don ve kuraklık gibi ani ve şiddetli bozulmalara maruz kalan ekosistemlerde türlerin hayatta kalma ve yeniden büyüme şansını artıran önemli bir adaptif mekanizma olarak öne çıkmaktadır.

21. yüzyılda kuraklık olaylarının sıklık ve şiddetinin artacağı öngörüldüğünde, iyileşebilme özelliği taşıyan türlerin ve ekosistemlerin bu yeni iklim koşullarına daha dirençli olacağı düşünülmektedir. Şekil 2’ de kuraklığın şiddetine bağlı olarak bitki iyileşme sürecinin farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Hafif kuraklık sonrası “telafi edici büyüme” gibi pozitif etkiler bile gözlemlenebilirken, aşırı kuraklıkta hem fotosentez hem de hücresel yapı kalıcı şekilde zarar görmektedir.



Şekil 2. Bitkilerin kuraklık toleransı ve Geri kazanım mekanizması

. Fizyolojik düzeyde, geri kazanım öncelikle su dengesinin yeniden sağlanmasıyla başlar. Stres süresince kapanmış olan stomaların tekrar açılmasıyla birlikte transpirasyon ve fotosentez oranları artmaya başlar. Yaprak su potansiyelinin ve relatif su içeriğinin yükselmesi, turgor basıncının yeniden kazanılmasını sağlar. Ancak stomatal iletkenlik ve fotosentez oranı her zaman tam olarak eski seviyelere ulaşmayabilir; bu da geri kazanımın kısmi olabileceğini gösterir (Hsiao, 1973). Biyokimyasal olarak, kuraklık sırasında biriken reaktif oksijen türlerinin (ROS) ve peroksitlerin temizlenmesi, antioksidan enzim sistemlerinin (SOD, CAT, APX vb.) aktivasyonu ile sağlanır. Aynı zamanda, prolin gibi ozmotik maddelerin düzeylerinde kademeli bir azalma gözlenir. Prolinin hızlıca metabolize edilmesi, strese çıktığının bir göstergesi olarak kabul edilir. Çözünür şekerlerdeki değişimler ise enerji ihtiyacına bağlı olarak farklılık gösterebilir; bazı genotiplerde şeker

mobilizasyonu hızla yeniden başlarken, bazılarında bu süreç daha yavaş ilerleyebilir. Moleküler düzeyde, stres anında aktive edilen genlerin çoğu, geri kazanım sürecinde susturulurken; protein tamiri, hücre bölünmesi ve büyüme ile ilişkili genler yeniden aktifleşir. Bu geçiş, özellikle ABA (abscisic acid) düzeylerinin azalması ve büyümeyi teşvik eden hormonların (IAA, GA, sitokininler) düzeylerinin artmasıyla ilişkilidir. Yapılan bazı çalışmalarda, toleranslı genotiplerin stresten çıktıktan sonra hormon dengesini daha hızlı normalize ettikleri ve yeniden büyümeye geçişte avantaj sağladıkları gösterilmiştir. Geri kazanım kapasitesi, bitkinin önceki stres hafızası (stress memory) ile de ilişkilidir. Daha önce kuraklık deneyimi yaşamış bazı bitkiler, sonraki kuraklık koşullarına daha hazırlıklı yanıt verebilir ve iyileşme süreçlerini daha hızlı yönetebilir. Bu durum, epigenetik düzenlemelerin ve hafıza proteinlerinin rol oynadığı, hâlen araştırılan önemli bir alandır (Xu vd., 2010). Geri kazanım yeteneği olan resprouting özelliği taşıyan türlerin, hidrolik stabiliteyi koruma ve karbon kaynaklarını yer altı dokularında depolama yoluyla su stresine karşı daha esnek davranmasını sağlar (Dogan vd., 2025). Hidrolik özellikler, kök ve ksilem dayanıklılığı ile ilişkili olup, resprouter türlerde genellikle daha güçlüdür. Aynı zamanda, bu türler stres sonrası karbon tahsisini hızla yeniden yönlendirerek yeni sürgünlerin oluşumunu destekler. Bu özellikler, onları kuraklık stresinden daha hızlı toparlanan bitkiler hâline getirmektedir. Bu türlerin kuraklık gibi bozulmalardan sonra daha kısa sürede biyokütle ve işlevsel yapılarını geri kazandığını belirtilmiştir. Bu durum, sadece tür düzeyinde değil, ekosistem ölçeğinde de geri

kazanım kapasitesinin daha yüksek olduğunu göstermektedir. İyileşme özelliğe sahip türlerin yaygın olduğu ekosistemler, gelecekteki kuraklık senaryolarına karşı daha dirençli olabilir. Bu nedenle, bu stratejinin iklim değişikliğine karşı ekolojik dayanıklılığın bir göstergesi olarak dikkate alınması ve ekosistem modellemelerinde özel olarak ele alınması gereklidir (Zeppel vd., 2015). Bitkilerde belirli bir kuraklık stresi sonrası yeniden sulama (rewatering), çeşitli düzeylerde geri kazanım tepkilerinin ortaya çıkmasına neden olur. Bu geri kazanım tepkileri genel olarak üç ana grupta sınıflandırılabilir: telafi edici (compensatory), tam (complete) ve kısmi (partial) geri kazanım. Hafif şiddetteki kuraklık sonrasında bitkilerde gözlenen telafi edici geri kazanım, fotosentetik aktivite ve büyüme gibi temel süreçlerin stres öncesi düzeylerin üzerine çıkmasıyla uyumludur. Orta ve şiddetli kuraklık durumlarında, yeniden sulama ile bitkiler çoğu zaman temel fizyolojik fonksiyonlarını eski düzeylerine getirebilmekte ve tam geri kazanım sağlanabilmektedir. Ancak aşırı şiddetteki kuraklık, fotokimyasal sistemler ve hücresel bütünlük üzerinde kalıcı hasarlara neden olarak geri kazanımı sınırlamaktadır. Bu durumda yalnızca kısmi geri kazanım mümkün olmakta, fotosentez oranı ve stomal iletkenlik tam anlamıyla eski düzeyine ulaşamamaktadır (Flexas vd., 2009; Xu vd., 2010). Tarım açısından bakıldığında, geri kazanım yeteneği yüksek olan genotipler, sadece stres altındaki performanslarıyla değil, stres sonrası toparlanma hızlarıyla da verimlilik ve kalite üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Özellikle meyve ağaçları gibi uzun ömürlü bitkilerde, her stres

döneminin ardından etkili bir iyileşme süreci, uzun vadeli verim sürdürülebilirliği için gereklidir.

SONUÇ

Geri kazanım sürecinin başarısı, abiyotik stresin şiddeti kadar, bitki türünün genetik özellikleri ile de doğrudan ilişkilidir. Bu bağlamda, kuraklık sonrası geri kazanımın desteklenebilmesi için bitkisel üretim sistemlerinde stres öncesi izleme, uygun sulama zamanlaması, dayanıklı genotip seçimi ve biyostimülan uygulamaları gibi entegre stratejilerin benimsenmesi büyük önem taşımaktadır. Özellikle iklim değişikliğinin etkileri göz önüne alındığında, bitkilerde hızlı ve etkili geri kazanım mekanizmalarını destekleyen agronomik ve biyoteknolojik yaklaşımlar, sürdürülebilir tarım açısından kritik bir rol oynamaktadır.

KAYNAKÇA

- Arndt, S. K., Clifford, S. C., Wanek, W., Jones, H. G., & Popp, M. J. T. P. (2001). Physiological and morphological adaptations of the fruit tree *Ziziphus rotundifolia* in response to progressive drought stress. *Tree physiology*, 21(11), 705-715.
- Carnicer, J., Coll, M., Ninyerola, M., Pons, X., Sánchez, G., & Peñuelas, J. (2011). Widespread crown condition decline, food web disruption, and amplified tree mortality with increased climate change-type drought. *The Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 108: 1474–1478.
- Dogan, M., Bolat, I., Turan, M., & Kaya, O. (2025). Physiological and biochemical responses of ‘Divadona’ peach on Rootpac 20 and Rootpac 40 under drought and heat stress adaptation and its recovery mechanisms. *Physiologia Plantarum*, 177(3), e70250.
- Doğan, M., Bolat, I., Turan, M., Kaya, O. 2025. Elucidating stress responses in *Prunus* rootstocks through comprehensive evaluation under drought, heat shock and combined stress conditions. *Scientia Horticulturae*. Volume 339, 1 January 2025. 113882.<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113882>.
- Farooq, M., Hussain, M., Wahid, A., & Siddique, K. H. M. (2012). Drought stress in plants: an overview. *Plant responses to drought stress: From morphological to molecular features*, 1-33.
- Gallé, A., Haldimann, P., & Feller, U. (2007). Photosynthetic performance and water relations in young pubescent oak (*Quercus pubescens*) trees during drought stress and recovery. *New Phytologist*, 174(4), 799–810.
- García-Sánchez, F., Syvertsen, J. P., Gimeno, V., Botía, P., & Perez-Perez, J. G. (2007). Responses to flooding and drought stress by two citrus rootstock seedlings with different water-use efficiency. *Physiologia Plantarum*, 130(4), 532-542.
- Hazen, S.P., Pathan, M.S., Sanchez, A., Baxter, I., Dunn, M., Estes, B., Chang, H.S., Zhu, T., Kreps, J.A., & Nguyen, H.T. (2005). Expression profiling of rice segregating for drought tolerance QTLs using a rice genome array. *Functional and Integrative Genomics*, 5: 104–116.

- Hirayama, T ve Shinozaki, K., 2010. Research on plant abiotic stress responses in the post-genome era: past, present and future, *The Plant Journal*, 61, 1041-1052.
- Hsiao, T. C. (1973). Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology*, 24, 519–570.
<https://doi.org/10.1146/annurev.pp.24.060173.002511>.
- Jiménez, S., Dridi, J., Gutiérrez, D., Moret, D., Irigoyen, J. J., Moreno, M. A., & Gogorcena, Y. (2013). Physiological, biochemical and molecular responses in four *Prunus* rootstocks submitted to drought stress. *Tree physiology*, 33(10), 1061-1075.
- Klamkowski, K., & Treder, W. (2008). Response to drought stress of three strawberry cultivars grown under greenhouse conditions. *Journal of fruit and ornamental plant research*, 16(16), 179-188.
- Korkmaz, H., & Durmaz, A. (2017). Bitkilerin abiyotik stres faktörlerine karşı geliştirilen cevaplar. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 192-207.
- Kosová, K., Vítámvása, P., Prášila, I. T. Ve Renaut, J., 2011. Plant proteome changes under abiotic stress - Contribution of proteomics studies to understanding plant stress response, *Journal of Proteomics*, 74, 1301-1322.
- López-Serrano, L., Canet-Sanchis, G., Vuletin Selak, G., Penella, C., San Bautista, A., López-Galarza, S., & Calatayud, Á. (2019). Pepper rootstock and scion physiological responses under drought stress. *Frontiers in plant science*, 10, 38.
- Mundree, S.G., Baker, B., Mowla, S., Peters, S., Marais, S., Willigen, C.V., Govender, K., Maredza, A., Muyanga, S., Farrant, J.M., & Thomson, J.A. (2002). Physiological and molecular insights into drought tolerance. *African Journal of Biotechnology*, 1:23-38.
- Örs, S., & Ekinci, M. (2015). Kuraklık stresi ve bitki fizyolojisi. *Derim*, 32(2), 237-250.
- Pervez, M. A., Ayub, C. M., Khan, H. A., Shahid, M. A., & Ashraf, I. (2009). Effect of drought stress on growth, yield and seed quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 46(3), 174-178.
- Rahdari, P., & Hoseini, S. M. (2012). Drought stress: a review.

- Ruiz-Lozano, J.M., Porcel, R., Bárzana, G., Azcón, R., & Aroca, R. (2012). Contribution of arbuscular mycorrhizal symbiosis to plant drought tolerance: state of the art. pp. 335–362. In: Aroca, R. (Ed.), *Plant Responses to Drought Stress* Springer-Verlag, Heidelberg.
- Sağlam, A. (2004). Ağır kuraklık stresi geçirmiş *Ctenanthe setosa* bitkisinin yeni kuraklık koşullarına adaptasyon yeteneğinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Şimşek, Ö., Isak, M. A., Dönmez, D., Dalda Şekerci, A., İzgü, T., & Kaçar, Y. A. (2024). Advanced biotechnological interventions in mitigating drought stress in plants. *Plants*, 13(5), 717.
- Teuling, A.J., van Loon, A., Seneviratne, S.I., Lehner, I., Aubinet, M., Heinesch, B., Bernhofer, C., Grünwald, T., Prasse, H., & Spank, U. (2013). Evapotranspiration amplifies European summer drought. *Geophysical Research Letters*, 40 (10): 2071-2075.
- Tsegay, D., Amsalem, D., Almeida, M., & Crandles, M. (2014). Responses of grapevine rootstocks to drought stress. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 6(1), 1-6.
- Twirkoski, T., Fazio, G., & Glenn, D. M. (2016). Apple rootstock resistance to drought. *Scientia Horticulturae*, 204, 70-78.
- Wasternack, C., 2007. Jasmonates: An update on biosynthesis, signal transduction and action in plant stress response, growth and development, *Annals of Botany*, 100, 681-697.
- Xu, Z., Zhou, G., & Shimizu, H. (2010). Plant responses to drought and rewatering. *Plant signaling & behavior*, 5(6), 649-654.
- Yüksel, B., & Aksoy, Ö. (2017). Su stresi koşullarında bitkilerde gözlenen değişimler. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 10(2), 1-5.
- Zeppel, M. J., Harrison, S. P., Adams, H. D., Kelley, D. I., Li, G., Tissue, D. T., ... & McDowell, N. G. (2015). Drought and resprouting plants. *New Phytologist*, 206(2), 583-589.

BİTKİ BİLİMLERİNDE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR: GÜBRE TEKNOLOJİLERİ,
PEYZAJ VE STRES TOLERANSI

