

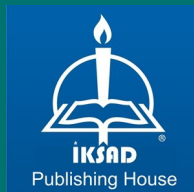


ZİRAAT, ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ ALANINDA ARAŞTIRMALAR VE DEĞERLENDİRMELER - 2

EDİTÖRLER

Doç. Dr. Muhammet ALI GÜNDEŞLİ

Doç. Dr. Remzi UĞUR



ZİRAAT, ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ ALANINDA ARAŞTIRMALAR VE DEĞERLENDİRMELER II

EDİTÖRLER

Doç. Dr. Muhammet ALI GÜNDEŞLİ

Doç. Dr. Remzi UĞUR

YAZARLAR

Prof. Dr. Arzu UÇAR

Prof. Dr. Ferhad MURADOĞLU

Prof. Dr. Levent ARIN

Prof. Dr. Muhammed ATAMANALP

Doç. Dr. Turgay KABAY

Doç. Dr. Veysel PARLAK

Dr. Öğr. Üyesi Alper GÜNGÖR

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÇIRKA

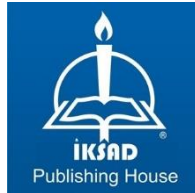
Dr. Cemile TEMUR ÇINAR

PhD Muhammad Arsalan MANZOOR

Arş. Gör. Şeyma BATUR

Yük. Zir. Müh. Tuğba ERDOĞAN

Zir. Müh. Elif BOZ



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

(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)

TÜRKİYE TR: +90 342 606 06 75

USA: +1 631 685 0 853

E mail: iksadyayinevi@gmail.com

www.iksadyayinevi.com

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

Iksad Publications – 2025©

ISBN: 978-625-378-437-9

Cover Design: İbrahim KAYA

December / 2025

Ankara / Türkiye

Size: 16x24cm

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	1
-------------------	----------

BÖLÜM 1

SU ÜRÜNLERİ ALANINDA TEMEL DENEME MATERYALLERİ -I- SU

Prof. Dr. Muhammed ATAMANALP

Prof. Dr. Arzu UÇAR

Doç. Dr. Veysel PARLAK.....	3
-----------------------------	---

BÖLÜM 2

SU ÜRÜNLERİ ALANINDA TEMEL DENEME MATERYALLERİ -II- YEM ve CANLI

Prof. Dr. Muhammed ATAMANALP

Prof. Dr. Arzu UÇAR

Doç. Dr. Veysel PARLAK.....	11
-----------------------------	----

BÖLÜM 3

BEYAZ LAHANADA HİDROPRİMİNGİN TOHUM GÜCÜ VE YÜKSEK SICAKLIK STRESİNDE ÇİMLENME VE ÇIKIŞ ÜZERİNE ETKİSİ

Zir. Müh. Elif BOZ

Prof. Dr. Levent ARIN.....	21
----------------------------	----

BÖLÜM 4

BİTKİLERDE KURAKLIK STRES YÖNETİMİ

Dr. Öğr. Üyesi Alper GÜNGÖR.....	39
----------------------------------	----

BÖLÜM 5

BİTKİ VİROLOJİSİNDE BİTKİ BÜYÜMESİNİ TEŞVİK EDEN RİZOBAKTERİLERE (PGPR) DAYALI SÜRDÜRÜLEBİLİR MÜCADELE STRATEJİLERİ

Dr. Cemile TEMUR ÇINAR

Yük. Zir. Müh. Tuğba ERDOĞAN.....	51
-----------------------------------	----

CHAPTER 6

EFFECT OF CADMIUM STRESS ON PLANTS

Prof. Dr. Ferhad MURADOĞLU

PhD Muhammad Arsalan MANZOOR

Res. Assist. Şeyma BATUR.....65

BÖLÜM 7

SÜS LAHANASI ÜRETİMİ

Doç. Dr. Turgay KABAY.....95

BÖLÜM 8

TOPRAKSIZ ORTAMDA MARUL VE SALATAT ÜRETİMİ

Doç. Dr. Turgay KABAY

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÇIRKA.....107

ÖNSÖZ

Tarım, ormancılık ve su ürünleri alanları; insanlığın gıda güvenliğini sağlaması, doğal kaynakları sürdürülebilir biçimde kullanması ve ekosistem dengesini koruması açısından stratejik öneme sahip disiplinlerdir. İklim değişikliği, artan nüfus, doğal kaynakların azalması ve çevresel baskılar, bu alanlarda yürütülen bilimsel araştırmaların önemini her geçen gün daha da artırmaktadır. Bu bağlamda hazırlanan **“Ziraat, Orman ve Su Ürünleri Alanında Araştırmalar ve Değerlendirmeler II”** adlı bu eser, güncel bilimsel yaklaşımları bir araya getirerek literatüre nitelikli bir katkı sunmayı amaçlamaktadır.

Bu kitap; bitkisel ve hayvansal üretim, toprak ve su kaynakları yönetimi, ormancılık ekolojisi, biyolojik çeşitlilik, su ürünleri yetiştiriciliği ve avcılığı gibi geniş bir yelpazede yürütülen akademik çalışmaları kapsamaktadır. Alanında uzman araştırmacılar tarafından hazırlanan bölümler hem teorik bilgi birikimini hem de uygulamaya dönük bilimsel bulguları içermektedir. Bu yönüyle eser, sadece akademik camia için değil, aynı zamanda uygulayıcılar, politika yapıcılar ve sektör paydaşları için de önemli bir başvuru kaynağı niteliği taşımaktadır.

Kitabın ikinci cildi olma özelliğini taşıyan bu çalışma, ilk ciltte ortaya konulan bilimsel birikimi daha ileriye taşımakta ve yeni araştırma alanlarına ışık tutmaktadır. Özellikle sürdürülebilir tarım uygulamaları, iklim değişikliğine uyum stratejileri, orman ekosistemlerinin korunması ve su ürünleri üretiminde verimlilik gibi güncel ve kritik konulara odaklanan bölümler, geleceğe yönelik bilimsel ve pratik çözüm önerileri sunmaktadır.

Bilimin evrensel ilkeleri doğrultusunda hazırlanan bu eser, disiplinler arası bir bakış açısını benimseyerek ziraat, orman ve su ürünleri bilimleri arasındaki etkileşimi güçlendirmeyi hedeflemektedir. Bilgi üretmenin ve paylaşmanın öneminin her zamankinden daha fazla hissedildiği günümüzde, bu kitabın yeni araştırmalara ilham vereceğine ve genç araştırmacılar için yol gösterici olacağına inanıyoruz.

Bu değerli çalışmanın ortaya çıkmasında emeği geçen, editörlerimize ve bilimsel katkı sunan hakemlerimize teşekkür eder; kitabın bilim dünyasına, ülkemize ve insanlığa hayırlı olmasını temenni ederim.

Editörler

Doç. Dr. Muhammet ALI GÜNDEŞLİ¹

Doç. Dr. Remzi UĞUR²

¹ Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi, Turizm Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, Kahramanmaraş. muhammetali.gundesli@istiklal.edu.tr

² Gaziantep Üniversitesi, Nurdağı Meslek Yüksek Okulu, Park ve Bahçe Bitkileri Bölümü, Gaziantep. remzibey@hotmail.com

BÖLÜM 1

SU ÜRÜNLERİ ALANINDA TEMEL DENEME MATERYALLERİ -I-

SU

Prof. Dr. Muhammed ATAMANALP¹

Prof. Dr. Arzu UÇAR²

Doç. Dr. Veysel PARLAK³

<https://www.doi.org/10.5281/zenodo.17907595>

¹ Atatürk Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, Erzurum, Türkiye.
mataman@atauni.edu.tr, orcid id: 0000-0002-2038-3921

² Atatürk Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, Erzurum, Türkiye.
arzuucar@atauni.edu.tr, orcid id: 0000-0001-5675-9401

³ Atatürk Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, Erzurum, Türkiye.
veysel.parlak@atauni.edu.tr, orcid id: 0000-0002-3459-7963

1. GİRİŞ

Sektörel olarak hızlı gelişen su ürünleri, bu bilim alanında çalışan araştırmacı ve araştırma sayısının da artmasına çalışma konularının çeşitlilik kazanmasını zorlamaktadır. Lisans eğitimi tamamlayan ve akademisyenliği tercih edecek olan araştırmacı adayları, lisans müfredatında su ürünleri alanında bir deneme kurulması yönünde tecrübe ve fikir sahibi olmadıklarından, lisansüstü eğitime ve denemelere başlarken zorluklar yaşamaktadırlar. Bu bilgi derlemesi, bir çalışmanın temel bileşenlerinin neler olması gerektiği yönünde fikir altyapısı oluşturmak amacıyla hazırlanmıştır.

İki bölüm olarak kurgulanan çalışmanın ilk bölümünde su materyali ele alınmıştır. Su, yaşamın temeli olduğu gibi su ürünleri denemelerinin de temelini oluşturmaktadır. Bulunduğu bölge, içerdiği canlı grupları, maruz kaldıkları fiziksel veya kimyasal kirlilik etmenleri gibi başlıklar dikkate alındığında bu alanda yapılacak çalışmaların artarak devamlılık arz edeceği görülmektedir.

2.TEMEL DENEME MATERYALİ OLARAK SU:

Su ürünlerinde ana teması “su” olan çalışmalar; su kalitesindeki değişimleri izlemek, balık hastalıklarının su kaynaklı nedenlerini araştırmak, kirlilik kaynaklarının tespiti yada kirlilik etmenlerinin belirlenmesi amacıyla yapılır (Heath, 2018; Atamanalp, 2024).

2.1. Su Materyali:

Su ürünleri alanında yapılan çalışmaların temelini, ana materyali “su” olan araştırmalar oluşturmıştır. Bunlar mevcut su kaynağının yetiştiricilik için uygunluğuna bakılması, su kirliliği envanterinin çıkarılması ya da su parametrelerinin yıllara/ mevsimlere göre değişimlerinin belirlenmesini amaçlayabilir. Ana materyali su olan çalışmalarda toplanacak verinin çeşitliliği çalışma sonuçlarının zenginliğine ve raporlamanın kalitesine direk etkilidir (Atamanalp, 2024).

Bu çalışmalarda suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametrelerine bakılabilir.

2.1.1.Suyun Fiziksel Özellikleri:

Çalışmalarda suyun öncelikli olarak dikkate alınması gereken fiziksel özellikleri şunlardır (Kumar, 2004):

- Sıcaklık

- Akıntılar
- Yoğunluk
- Optik özellik
- Gel-git durumu
- Türbidite

2.1.2.Suyun Kimyasal Özellikleri:

Sularda kimyasal parametreler çok sayıda olmakla birlikte bunlardan çalışılacak olanların sayısını, çalışma bütçesi, araştırma olanakları ve araştırmacının bu konudaki yetileri belirlemektedir. Bu parametrelerden bazıları (Madrid ve Zayas, 2007):

- Tuzluluk
- Çözülmüş oksijen
- Karbondioksit
- Amonyak
- Nitrit
- Fosfor
- Hidrojen sülfür
- Kükürt
- Asidite
- pH ve asit bağlama değeri
- Sertlik
- Silisyum' dur.

2.1.3.Suyun Biyolojik Özellikleri:

Bu başlıkta araştırmacıların suyun canlı içeriği ile ilgilenmek zorundadırlar. Planktonlar, su bitkileri ya da balıklar gibi yüksek organizmaların varlığı ve bolluğu bu başlıktaki parametreler olarak düşünülmelidir.

2.1.4. Su Analizleri İçin Örnek Alımı:

Kimyasal analizlerin yapılması için örnek alınırken bu amaçla üretilmiş şişelerin tercih edilmesi, araştırmacılar için bir tavsiyedir. Eğer temin etme imkanı yoksa su örnekleri, renksiz, temiz, cam şişelere konulmalı ve şişelerin ağzı sağlam bir şekilde temiz bir kapakla kapatılmalıdır (Atamanalp, 2024).

Bu kabın hacminin iki litreden az olmaması alınacak numunenin analizler için yeterli olmasını sağlayacaktır. Eğer toksisite etmeninin araştırılması yönünde incelemeler yapılacaksa bu miktar 15 litreye kadar çıkabilir.

Çalışılacak su örneği bir kaynak ise suyun alınmasında araştırmacı tarafından bir düzenek geliştirilmelidir. Kaynakların debisi azaldıkça suyun alımı daha zorlaşacağından suyun çıktığı noktaya hazırlanacak düzenek ona göre yapılmalıdır. Bu amaçla iyice temizlenen bir büz veya boru zemine yerleştirilebilir (Şekil 1). Şişe, numune alınmadan önce, numune alınacak su ile en az 3 defa çalkalanmalıdır. Radyoaktivite ölçümü için numune alırken ise cam şişe yerine polietilen olanları tercih edilmelidir. Kesinlikle gazlı içeceklerden boşalan şişeler kullanılmamalıdır (Barcelona, 1985).



Şekil 1. Kaynaklardan su alımı

Çalışılacak su göl veya akarsu ortamı ise, şişe su kaynağının kenarından en az bir metre uzaklıkta ağzı açık ve baş aşağı tutularak suya sokulur ve şişe yüzeyden yaklaşık 50 cm derinlikte ters çevrilmek suretiyle doldurulur (Horowitz ve ark., 1994).

Son yıllarda su kaynaklarında ve sucul canlılarda çok sık görüldüğünden su kirliliği çalışmalarında çok fazla öne çıkan mikroplastik çalışmalarında yapılacak su örneklemelerinde daha fazla özen gösterilmesi gerekmektedir. Bu çalışmalarda kontaminasyonun önlenmesi elde edilecek bulgular açısından çok önem taşımaktadır. Su örnekleri alınırken, muhafaza edilirken, taşınırken ve analizler esnasında plastik kökenli malzeme ve ekipmanın kullanılmaması gerekmektedir.

2.1.5. Alınan Örnek Ambalajlarının Etiketlenmesi:

Ana materyali “Su” olan çalışmalarda alınan örneklerden hedeflenen analizlerin yapılmasında örnek kabının etiketlenmesi son derece önemli bir aşamadır. Suyu dayanımlı bir materyalden hazırlanan etiketin üzeri yine suyla

temas etme ihtimali gözönünde bulundurularak dayanımı yüksek kalemle yazılmalıdır.

Bu etiket üzerinde (Mortimer, 2007);

- Örnekleme yapılan suyun adı,
- Örnekleme yapılan suyun yeri, mevki
- Su numunesinin alındığı tarih ve saat
- Su numunesinin alındığı andaki sıcaklığı
- Yapılması istenecek olan analizler
- Gerekli Açıklamalar:
 - Örneklenen suyun öncesinde bir işlem görüp görmediği
 - Su örneğinin alındığı andaki hava şartları,
 - Alınan su seviyesi ve akış hızı gibi bilgiler mutlaka yer almalıdır.

Açıklama:

Bu derleme, yazarlar tarafından lisansüstü müfredat kapsamında sunulan Su Ürünlerinde Örnekleme Metotları ders notları temel alınarak hazırlanmıştır. Şeklin oluşturulmasında yapay zeka desteği alınmıştır (Chatgpt).

KAYNAKÇA:

- Atamanalp, M. (2024), Su Ürünlerinde Örneklemeye Metotları ders notları (Yayınlanmamış).
- Barcelona, M. J. (1985). Practical guide for ground-water sampling (Vol. 600, No. 2-104). Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency.
- Heath, A. G. (2018). Water pollution and fish physiology. CRC press.
- Horowitz, A. J., Demas, C. R., Fitzgerald, K. K., Miller, T. L., & Rickert, D. A. (1994). US Geological Survey protocol for the collection and processing of surface-water samples for the subsequent determination of inorganic constituents in filtered water (No. 94-539). US Geological Survey.
- Kumar, A. (Ed.). (2004). Water pollution. APH Publishing.
- Madrid, Y., & Zayas, Z. P. (2007). Water sampling: Traditional methods and new approaches in water sampling strategy. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 26(4), 293-299.
- Munro Mortimer, J. F. M. (2007). Sampling methods in surface waters. In Handbook of water analysis (pp. 15-60). CRC Press.

BÖLÜM 2
SU ÜRÜNLERİ ALANINDA TEMEL DENEME
MATERYALLERİ -II-
YEM ve CANLI

Prof. Dr. Muhammed ATAMANALP¹

Prof. Dr. Arzu UÇAR²

Doç. Dr. Veysel PARLAK³

<https://www.doi.org/10.5281/zenodo.17907655>

¹ Atatürk Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, Erzurum, Türkiye.
mataman@atauni.edu.tr, orcid id: 0000-0002-2038-3921

² Atatürk Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, Erzurum, Türkiye.
arzuucar@atauni.edu.tr, orcid id: 0000-0001-5675-9401

³ Atatürk Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, Erzurum, Türkiye.
veysel.parlak@atauni.edu.tr, orcid id: 0000-0002-3459-7963

1. GİRİŞ

Su ürünleri yetiştiriciliği faaliyeti, balıkçılık kaynaklarının geliştirilmesi ve iyileştirilmesi ile ekosistemlerin canlandırılması için tek alternatif olarak kabul edilmektedir (Okechi, 2004). Yetiştiriciliğin gelişme süreci için mutlaka araştırma desteğine ihtiyaç duyulmakta ve bu alandaki araştırmacı/araştırma sayısı her geçen gün artmaktadır.

Bu Bölüm; lisans eğitimini tamamlayan ve akademisyenliği tercih edecek olan araştırmacı adaylarına su ürünleri alanında bir deneme kurulması yönünde tecrübe ve öngörü sahibi olmaları için hazırlanmıştır. Bu bilgi derlemesi, bir çalışmanın temel bileşenlerinin neler olması gerektiği yönünde fikir altyapısı oluşturmayı hedeflemektedir.

İki bölüm olarak kurgulanan çalışmanın ilk bölümünde 3 temel materyalden su materyali ele alınmıştır. Bu bölümde ise yem ve canlı materyal ele alınmış olup bir deneme kurulurken bu başlıklarda dikkat edilmesi gereken hususlar irdelenmiştir.

2. TEMEL DENEME MATERYALİ OLARAK YEM:

Balık yemleri, su ürünleri yetiştiriciliğinin toplam maliyetinin % 40-60' ını oluşturmaktadır (Prabu ve ark., 2017). Bu maliyet oldukça yüksek olduğundan su ürünleri araştırmacılarının üzerinde yoğun çalıştıkları konulardan olmuştur. Ticari balık yetiştiriciliği için, yerel olarak mevcut tarım endüstrisi yan ürünleri kullanılarak düşük maliyetli dengeli bir diyetin formüle edilmesi gerekmektedir. Son zamanlarda balık unu, su ürünleri yemlerindeki en pahalı protein bileşeni haline gelmiştir (Bhosela, 2010).

Alternatif protein yem bileşenleri ve yağlar genellikle bitkisel veya hayvansal kökenli olanlar olarak ikiye ayrılabilir (her ne kadar günümüzde bazı bakteri ve mantar ürünleri de ortaya çıksa da) ve birçoğu su ürünleri yetiştiriciliği türleri için gerekli diyet besinlerini sağlama konusunda önemli bir potansiyele sahiptir. Bu kaynakların su ürünleri yetiştiriciliği diyetlerinde kullanımının optimizasyonu, bu ürünlerin kimyasal bileşiminin, bu ürünlerin beslenmesinin sonuçlarının ve beslenen her bir tür üzerindeki etkilerinin ayrıntılı olarak anlaşılmasına bağlıdır. Ancak, herhangi bir hammaddenin kullanımında olduğu gibi, balıkçılık ürünlerinden elde edilenlere alternatif protein ve yağların kullanımı da güvenli, sürdürülebilir ve işlevsel yemlerin

üretimini sağlamak için dikkate alınması gereken bir dizi risk ortaya çıkarır (Glencross ve ark., 2020).

Su ürünlerinde yapılan bir kısım denemelerde çalışmanın ana teması olarak yem tercih edildiği gibi diğer tüm çalışmalarda ise mutlaka yer alması gereken bir bileşendir. Denemede ana unsur yem değilse, rutin yetiştiricilikte kullanılan ticari yemler ile besleme yapılır. Diğer bir ifadeyle, yemin etkisi çalışmanın ana konusu değilse, diyet ya da formülasyon hazırlama ile zaman kaybedilmeden bu amaçla üretilmiş olan, o tür için uygun yemler kullanılır.

Bu tip çalışmalarda gerek kontrol grubu gerekse uygulama grupları (Atamanalp, 2024);

- aynı ticari yem ile
- aynı miktarlarda
- aynı zamanlarda
- aynı aralıklarla
- aynı sayıdaki öğünlerde

deneme süresi boyunca beslenir. Bu aşamada araştırmacılar adlibitum yemleme terimi ile ilk defa karşılaşabilirler. Serbest yemleme olarak ta bilinen adlibitum yemlemede balıkların iştahları gözlenerek balıkların yem alması devam ettiği sürece yapılan yemleme şeklidir. Küçük ölçekte tercih edilir, ancak ölçek büyüdükçe uygulama zorlaşır ve gözlem olanaksızlaşabilir (Dikel, 2021) .

Denemenin ana teması yem olan çalışmalar genellikle besleme denemeleri olarak adlandırılır. Bu tip araştırmalar;

- Yem bileşiminin,
- Yem miktarının,
- Öğün sayısının deneneceği kurguda hazırlanmış olan çalışmalar olabilir.

Su ürünleri alanında kontamine yemlerin kullanıldığı kirlilik denemeleri de bulunmaktadır. Bu tip çalışmalarda kirletici etmen sucul canlıya yeme ilave edilerek verilir. Kontamine yemlerin kullanıldığı kirlilik denemeleri sucul toksikoloji araştırma alanının önemli bir parçasıdır. Bu tip çalışmalarda sıfırdan yem bileşenleri bir araya getirilerek bir yem hazırlamak araştırmacı için önemli zaman ve işgücü kaybı olacağından, o türde yetiştiricilikte rutin olarak kullanılan ticari yemlere denenecek olan etkin madde eklenerek yapılır. Bu ekleme, yem üzerine kirletici etmenin (denenecek bileşimin) püskürtülmesi,

yemin bulanarak kontamine edilmesi ya da yemin un haline getirilerek yeniden peletlenmesi şeklinde olur.

Yem bileşiminin denendiği çalışmalarda, mevcut yem formülasyonlarına yeni bir katkı eklenerek bileşimlerin geliştirilmesi hedeflenebilir. Örneğin yemin bileşenlerinden pahalı olan biri yerine ekonomik alternatif geliştirilmesi denenebilir. Bu durumda, kontrol grubuna katkısız yem, deneme grubu (grupları) na ise denenecek katkının ilave edildiği yemler ile besleme yapılır. Bu denemeler (Atamanalp, 2024);

- balıklarda renklenme
- canlı ağırlık artışı
- yem değerlendirme oranı
- balık eti bileşeni gibi parametrelerdeki değişimleri belirlemek için yapılır.

Yem miktarı denemelerinde ise kontrol grubu ile uygulama gruplarına farklı miktarlarda yem hesaplanarak verilir. Bu tip araştırmalarda yem miktarı farklı fakat;

- Markası ve yem içeriği aynı,
- Aynı partide üretilmiş,
- Aynı şartlarda depolanmış
- Aynı tazelikte olan yemler kullanılır.

Öğün sayısının denendiği araştırmalarda ise kontrol grubu ve deneme gruplarına aynı yem farklı aralıklarla farklı sayıdaki öğünlerde verilir.

3.TEMEL DENEME MATERYALİ OLARAK CANLI:

Su ürünleri denince ilk akla balık gelmesine rağmen sucul canlılar çok geniş bir aralıkta bulunmaktadır. Bu aralık içerisinde mikroskopik canlılar, sucul omurgasızlar olduğu gibi su bitkileri de yer almaktadır.

Çalışmada hangi sucul canlı türünün kullanılacağına çalışmanın amacı doğrultusunda karar verilir. Sonraki aşamada bu canlı türünün nasıl temin edileceği aşaması araştırmada önemli bir süreçtir. Canlı materyal olarak belirlenen türün hangi yaşam evresinde denemenin yapılacağı canlıların elde edilme yolunu belirleyecek bir aşamadır.

3.1 Su Böcekleri

Kurgulanan araştırmada canlı materyal olarak sucul böcekler kullanılacaksa böceklerin erginlerinin toplanma metotları ve kaynakları farklı, ergin olmayan sucul böceklerin ki ise daha farklıdır. Bazı sucul böcek türlerinde erginler karada yaşarken önceki yaşam evreleri sucul ortamlarda bulunduğundan örneklerin temini buralardan yapılmalıdır. Bundan sonraki adımda ise su kaynağının akarsu ya da göl olması örnekleme şekillerinde önemli farklılıklar oluşturmaktadır (Williams ve Feltmate, 2017).

Ergin olmayan böceklerin küçük akarsu ya da su birikintilerinden toplanmasında D-şekilli kepçeden yararlanılabilir (Şekil 1.). Daha büyük debili akarsularda ise Surber örnekleyicisi veya Hess örnekleyicisi kullanılmalıdır. Araştırmacılar bu ekipmanları teminde zorluk yaşadıkları durumlarda benzer amaçla kullanılacak basit düzenekler geliştirebilirler. Ergin olmayan böceklerin büyük nehirlerden örnekleme yapılması gerektiğinde ise Ekman kapanından yararlanılması gerekmektedir oluşturmaktadır (Williams ve Feltmate, 2017).



Şekil 1. D Şekilli Kepçe



Şekil 2. Hess örnekleyicisi
(<https://www.ebay.com/itm/113178896844>)



Şekil 3. Surber Örnekleyicisi (<https://dynamicaquasupply.com/>)

3.2. Balıklar

Balıkların bilimsel araştırmalarda kullanımı, hem balık yetiştiriciliği sektörünün hızla genişlemesi hem de temel araştırmalarda ve kimyasal testlerde memeli modellerinin insancıl kullanımına ilişkin soruların giderek daha fazla fark edilmesi nedeniyle dünya çapında artmaktadır. Balıklar, biyolojik ölçekte memelilerden daha alt sıralarda yer aldığından, daha az duyarlı oldukları düşünülmektedir (Schaeck, 2013).

Sucul deneylerde en fazla yararlanılan canlı grubunu balıklar oluşturmaktadır (Atamanalp, 2024). Balık modelleri, araştırmacılara ve hayvan refahıyla ilgilenenlere, iyileştirme, indirgeme ve değiştirme ilkeleri olan 3 R'ye bağlı kalma fırsatları sunmaktadır. Ancak, balıkların da 3 R ilkeleri kapsamında olması gerektiği unutulmamalıdır. Nitekim çeşitli çalışmalar, balıkların nosisepsiyon yeteneğine sahip olduğunu ve memelilerdekine benzer bir şekilde acı hissedebildiğini göstermiştir (Schaeck, 2013).

Araştırmanın canlı materyalinin balık olmasına karar verildiğinde bunlar:

- a) Doğal ortamlarından yakalama
- b) Ticari olarak temin
- c) Kendimizin yetiştiriciliği yaptığı bireyler olabilir.

Balık türünün seçimine karar verirken şu 3 madde mutlaka gözönünde bulundurulmalıdır:

- I. Deneme kurulacak suda yaşayabilecek özelliklerde olması
- II. Testler için yeterli sayıda bireyi temin edilebilecek tür olması
- III. Laboratuarda en az 1 ay sağlıklı koşullarda tutulabilmeli (aktivite, beslenme, lezyon gözükmemesi vb.)

Balıklar doğal ortamdan temin edilecekse dikkat edilmesi gereken önemli başlıklar şunlardır:

- Balıklar yaralanmaya veya zarara yol açmayacak av araçları ile yakalanmalıdır.
- Balıkları en az strese sokacak av araçları tercih edilmelidir.
- Yakalanan balıkların deneme ortamına nakilleri yapılırken strese yol açmayacak koşullarda taşınmalıdır.
- Deneme ortamına getirilen bireylerde taşındığı su sıcaklığı ile boşaltılacağı ortamın su sıcaklığı farkı dikkate alınmalı ve gerekli düzenlemeler yapılmalıdır.

Denemede kullanılacak balıklar, imkan varsa sertifikalı üreticilerden temin edilmelidir. Bunların öncesinde enfeksiyon geçirmemiş (Pankreatik nekroz, furunkulosiz vs.) olması önemlidir. Aynı şekilde toksik madde yada herhangi bir kirleticie maruz kalmamış olmaları gerekmektedir. Denemenin canlı materyali olacak balıkların gelişimi türünün normal değerlerinde olmalıdır. Fenotip olarak tür özelliklerinden farklılıklar göstermeyen bireyler seçilmelidir. Kısa süreli testlerde daha önemli olmak üzere denemeye alınan balıkların yaşı aynı, büyüklükleri ise mümkün olduğunca benzer olmalıdır.

Canlı materyali oluşturacak balıkların büyüklüğüne uygun deneme ortamı oluşturulmalıdır. Bunlar akvaryum, tank ya da havuz olarak düzenlenmelidir. Balık türünün isteklerine uygun su temin edilmeli kalite parametreleri sağlanmalıdır.

Denemede balıkların iklimlendirme süreci (Aklımasyon) sonuçları etkileyecek önemli bir aşamadır. Bu süreçte kullanılacak yemler;

- Balık ağız açıklığına uygun,
- İstenen protein düzeyine sahip,
- Uygun şartlarda depolanmış, küf, mantar vs. sorunu olmayan özellikte olmalıdır.

Denemeye alınmadan önce kullanılan yemler aklımasyon sürecinde de tercih edilmeli ve aşırı yemleme yapılmamalıdır.

İklimlendirme döneminde;

- Hastalık,
- Stres
- Fiziksel zararlanma
- Ölüm takibi yapılmalı ve her detay kaydedilmelidir.

Eğer bu süreçte balık stoğunda % 10' unun üzerinde ölüm var ise deneme popülasyonunu değiştirilmesi gerekmektedir. İklimlendirme sürecinde her türlü uygulamada gerekli özen gösterilmeli, gereksiz olanlarından kaçınılmalıdır. Zorunlu olan uygulamalar ise mümkün olduğunca kısa sürelerde tamamlanmalıdır. Balıklarda stres oluşmasının önüne geçmek için, ağırlık tartımları, boy ölçümleri ve diğer işlemlerde anestezi kullanımı tercih edilmelidir.

Açıklama:

Bu derleme, yazarlar tarafından lisansüstü müfredat kapsamında sunulan Su Ürünlerinde Örnekleme Metotları ders notları temel alınarak hazırlanmıştır. Şekil 1' in oluşturulmasında yapay zeka desteği alınmıştır (Chatgpt). Şekil 2 ve 3 resimleri verilen web adreslerinden alınmıştır.

KAYNAKÇA

- Atamanalp, M. (2024), Su Ürünlerinde Örneklemeye Metotları ders notları (Yayınlanmamış).
- Bhosale, S. V., Bhilave, M. P., & Nadaf, S. B. (2010). Formulation of fish feed using ingredients from plant sources. *Research Journal of Agricultural Sciences*, 1(3), 284-287.
- Dikel, S. (2021) Ilıman İklim Balıkları Yetiştiriciliğinde Teknik konular. Akademisyen Kitabevi, 1-26.
- Glencross, B. D., Baily, J., Berntssen, M. H., Hardy, R., MacKenzie, S., & Tocher, D. R. (2020). Risk assessment of the use of alternative animal and plant raw material resources in aquaculture feeds. *Reviews in Aquaculture*, 12(2), 703-758.
- Okechi JK. Profitability assessment: A case study of African catfish (*Clarias gariepinus*) farming in the Lake Victoria basin, Kenya, 2004.
- Prabu, E., Felix, S., Felix, N., Ahilan, B and Ruby, P. (2017) An overview on significance of fish nutrition in aquaculture industry. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies* 2017; 5(6): 349-355.
- Schaeck, M., Van den Broeck, W., Hermans, K., & Decostere, A. (2013). Fish as research tools: alternatives to in vivo experiments. *Alternatives to Laboratory Animals*, 41(3), 219-229.
- Williams D. D., Feltmate, B. W. (2017), *Aquatic Insects*, pp 372, Blackburn Press.

BÖLÜM 3

BEYAZ LAHANADA HİDROPRİMİNGİN TOHUM GÜCÜ VE YÜKSEK SICAKLIK STRESİNDE ÇİMLENME VE ÇIKIŞ ÜZERİNE ETKİSİ

Zir. Müh. Elif BOZ¹
Prof. Dr. Levent ARIN²

<https://www.doi.org/10.5281/zenodo.17907988>

¹Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Tekirdağ, Türkiye.
belif7361@gmail.com, Orcid ID: 0000-0002-3792-9193

²Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Tekirdağ, Türkiye.
larin@nku.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-0193-9912

GİRİŞ

Besin ihtiyacı, artan nüfus ile doğru oranlı bir şekilde artmakta ve dolayısıyla tarımda sürekli bir üretim artışı zorunluluk olarak karşımıza çıkmaktadır. Son yıllarda tarımda karşılaşılan başlıca olumsuz koşullar; artan nüfustan kaynaklı kentleşme, tarım arazilerinde ve kullanılabilir su kaynaklarında azalma, olumsuz ve değişken iklim koşulları, artan enerji maliyetleri, gıda güvenliğinde bilinçli tüketicilerin artması ile oluşan kaygılar, gıdalara erişimde karşılaşılan zorluklar vb. gibi daha pek çok sebep nedeniyle mevcut tarım yöntemleri tartışılır hale gelmekte; alternatif tarım seçenekleri ve arayışları önem kazanmaktadır (Cho, 2011; Laouchez, 2016; Al-Kodmany, 2018). Artan Dünya nüfusunun güvenli, kaliteli ve istikrarlı gıdaya olan talebi, bitkisel üretimde yüksek verimliliği gerektirirken günümüzde başta iklim değişikliği ve küresel ısınma gibi etkiler nedeniyle çevre şartlarında görülen bozulmalar ve tehditlerin giderek artış göstermesi, bitki gelişimini, kalitesi ve verimini garanti altına almaya dönük yeni anlayış, arayış ve tedbirleri zorunlu hale getirmektedir.

Tarımsal üretimde kültür bitkilerinin çoğaltılmasında genellikle doğrudan veya dolaylı olarak tohum kullanılmakta olup, ekonomik öneme sahip bitkilerin yaklaşık %80'i tohumdan yetiştirilmektedir (Marcos-Filho, 2015). Hızlı, üniform çıkış ve güçlü fideler, yeknesak bitki gelişimi ile yüksek ve kaliteli verim eldesinin temel koşuludur. Tüm üreticilerde olduğu gibi sebze ve sebze fidesi yetiştiricileri de üretim alanında en kısa sürede, homojen bitki standını ve verim artışını sağlayacak kaliteli tohuma sürekli olarak ihtiyaç gösterirler (Ventura ve ark., 2012).

Tohum kalitesini artırmaya veya tohum gücü düşük olan tohumların fizyolojik özelliklerini iyileştirmeye yönelik yaklaşımlardan biri, kontrollü hidrasyonla gerçekleştirilen "priming" uygulamalarıdır. Bu yöntem, çimlenme sürecinin erken evrelerinde DNA tamir mekanizmaları, enzim aktiviteleri ve antioksidan sistemlerinin devreye girmesi gibi bir dizi fizyolojik süreci tetiklemektedir. Ayrıca, yapılan çalışmalar bu uygulamaların tohumlarda bir tür "stres hafızası" (stress memory/priming memory) oluşturduğunu ve bu sayede hücrel savunma sistemlerinin aktive edilerek tohumların ilerleyen dönemlerde karşılaşılabilecekleri stres koşullarına karşı daha toleranslı hale geldiğini göstermektedir. (Arin ve Kıyak, 2003; Chen ve Arora, 2013; Lutts ve ark., 2016; Abid ve ark., 2018; Borromeo ve ark., 2025). Butler ve ark. (2009),

bu tür tohum ön işlemlerinin yalnızca ticari tohum firmaları tarafından değil, aynı zamanda genetik materyalin uzun süreli olarak saklandığı gen bankalarında da tohum gücünü artırmak ve özellikle yüksek ekonomik değere sahip ya da nadir tohumların depolama da dayanıklılığını iyileştirmek amacıyla kullanılabileceğini belirtmektedir. Ayrıca, bu uygulamaların yaşlanmış tohum partilerinde çimlenme oranını artırmak ve vigor (güç) düzeyini yeniden kazandırmak (restorasyon) açısından da potansiyele sahip olduğu vurgulanmaktadır (Lutts ve ark., 2016; Arın ve Çerence, 2023). İşlenmiş (priming) tohumlar hemen ekilebildiği gibi genellikle de depolanabilir. Tohum canlılığındaki azalışın, dehidrasyon, ısı şoku ve nemlendirme gibi depo sonrası uygulamalarla hafifletilebileceği ve işlenmiş tohumda kazanılan pozitif etkinin oda sıcaklığında ne kadar süreyle korunabildiğinin araştırılmasının endüstriyel düzeyde primingin yaygınlaşmasına katkı sağlayacağı ifade edilmektedir (Zulfiqar, 2021). Priming, tohum vigorunu yükseltmede etkili bir yaklaşım olmakla birlikte optimum uygulamaların tür, çeşit, sıcaklık, süre vb birçok faktöre göre değişiklik göstermesi, priming modelleri için genel bir kuralın ve priminge yanıtta belirli bir eğilimin olmaması yöntemin yaygınlaşmasındaki engeller olarak görülmektedir (Yan, 2015).

İdeal çimlenme şartlarında yürütülen çimlenme testleri sonuçları, birçok biyotik ve abiyotik kökenli stres koşullarının hüküm sürdüğü tarla koşullarında tohumun gösterebileceği performans konusunda yetersiz kalmaktadır. Tohum gücü özelliklerini belirlemek için yürütülen testler ise tohum lotları arasında tarla çıkış ve fide geliştirme potansiyelleri ve keza depo performansları hakkında önceden bilgi edinilmesine, dolayısıyla ekim ve depolama stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. (Marcos-Filho, 2015). Vigor ile ilgili halen tohum ticaretinde ve kaliteyi belirlemede uluslararası bir zorunluluk olmamasına rağmen ISTA ve AOSA tarafından bazı türler için kabul görmüş vigor testler vardır (AOSA, 1983; ISTA, 2012). Vigor ifadesinin tohumun tüm fizyolojik özelliklerinin toplamını içermesi nedeniyle, tek bir güç testi sonucunun yalnızca karşılaştırmalı bilgi verebileceği ve istenen hedefle ilişkili en az 2 ya da 3 testin sonuçlarının yorumlanması gerektiği ifade edilmektedir (Marcos-Filho, 2015). Ayrıca resmi ve özel tohum laboratuvarlarında vigor testler yapılıyor olmasına rağmen vigor parametreleri halen ticarileşecek seviyede minimum standartları kapsamamaktadır.

Global kriz olan küresel iklim değişikliğinden kaynaklı ekstrem sıcaklıklarla karşılaşılın tarımsal üretimde problemler artmakta, tarımsal ürünlerde oluşabilecek kayıpların azaltılması ve verimin yükseltilmesi araştırmacılar ve üreticiler tarafından hedeflenmektedir. Küresel iklim krizinin en büyük etkisi sıcaklıklarda meydana gelen ekstrem yükselme-düşüş ve mevsim kaymaları olarak gözlenmektedir (Deal, 2017). Türkiye'nin de içerisinde yer aldığı Akdeniz havzası iklim değişikliğinden en çok etkilenen bölgeler arasındadır. Gelecek yıllarda sıcaklık artışlarının etkilerinin Akdeniz havzasında daha fazla gözlenmesi beklenmektedir (Givan ve ark., 2018; Demirbaş ve Aydın, 2020).

Kısa süreli anormal yüksek sıcaklıkların ürün gelişimi ve verimi üzerine zararlı etkiye sahip olabileceği, birçok fizyolojik, biyokimyasal ve metabolik aktivitenin sıcaklığa bağlı olması nedeniyle, yüksek sıcaklık stresinin sebze üretimini olumsuz etkilediği ifade edilmektedir (Ayyogari ve ark., 2014; Parajuli ve ark., 2019). Örneğin hıyar ve kavun tohum çimlenmesinin 42-45°C'de büyük oranda bastırıldığı, karpuz, kabak tohumlarının 42°C'de çimlenmesinin kötü olduğu bildirilmektedir (Kurtar, 2010).

Dünya da genel olarak üretimi fazla ve tanınırlığı yüksek familyalardan biri *Brassicaceae* (Lahanagiller) familyasıdır. Dünya çapında bu familya yaklaşık 338 cins ve 3 700'den fazla tür içermektedir. Besin içeriği ve mutfak kültüründe lahananın yaygın yerinin bulunması tüketim miktarının artmasına yani üretimde de artışa olanak sağlamıştır. Ayrıca beyaz baş lahanası, fosfor ve kalsiyum gibi mineraller haricinde A, B1, B2, B12 ve C vitaminlerince de zengindir (Şalk ve ark., 2008). Lahanagiller familyası içerisinde yer alan Baş lahanası (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.)'nın 2022 yılında ülkemizde toplam üretimi 964 296 ton olup, bunun 666 959 tonu beyaz lahanadır. (FAO, 2024). Beyaz baş lahanası ve diğer lahanagil türlerinin üretiminin büyük bir kısmı fideden sağlanmaktadır. Beyaz lahanası sonbahar ve kış aylarında hasat edilen ve yüksek talep gören bir tarımsal üründür. Lahanası tohumlarının çimlenmesi için gereken optimum sıcaklığın üst sınır derecesi 37,7°C dir. 38°C'yi aşan sıcaklıklarda çimlenmede problemler meydana gelmektedir. (Maynard ve Hochmuth, 2006). Ticari ya da üretici koşullarında lahanası fidesi elde etmek için, genel olarak tohumlar yaz dönemi ve sonlarında yani sıcakların fide gelişimi için gereken optimum değer üzerinde olduğu dönemlerde çoğunlukla seralarda gerçekleştirilmektedir. Seralarda yaz aylarında sıcaklık

yükseldiğinden lahana üretiminin sağlanabilmesi için seralarda soğutma (gölgeleme) zorunluluğu bulunmaktadır. Sera iklimlendirmelerinde kullanılan cihazların enerji tüketimleri oldukça fazladır. Ayrıca fosil yakıta dayalı enerji kullanımı çevre ve üretici açısından da sorgulanmaktadır.

Bu çalışmada, günümüz problemlerinin başında yer alan ve tarımsal üretimi doğrudan etkisi altına alan sıcaklık değişimlerinden kaynaklı ekstrem (yüksek) sıcaklıkların beyaz baş lahana fidesi üzerindeki etkilerini belirlemek ve stresin yol açtığı olumsuzlukları tolere edebileceği düşünülen priming ve tohum gücünün etkileri incelenmiştir. Tarımsal üretim esnasında olumsuz çevre şartlarının engellenemediği durumlarda başlangıç materyalinin güçlendirilmesinin (hidropriming uygulaması) çözüm olacağı düşünülmüştür. Bu amaçla yürütülen denemede lahana tohumlarına 24 saat süreyle hidropriming uygulaması yapılmış ve ardından kısa süreli ekstrem sıcaklık (35-37°C) koşullarında fide gelişimleri incelenmiştir.

1. MATERYAL VE METOT

TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenen bu çalışma Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü Tohum Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Bitkisel materyal olarak, yassı baş yapısına ve mumlu gri-yeşil yapraklara sahip, sarmalık tüketime uygun 'Yalova Sarmalık' çeşidi beyaz baş lahananın 2023 yılı üretimi tohumları kullanılmıştır (Rain Seeds, Ankara-Türkiye, 2023)

Çalışmanın ilk aşamasında uygun hidropriming süresini belirlemek için tohumlar, 18 x 12 x 6 cm (uzunluk, genişlik, yükseklik) boyutundaki, tabanına çift katlı kurutma kağıdı serilmiş, steril, şeffaf gıda kaplarının içerisinde 10 g. tohuma 10 ml saf su olacak şekilde konmuştur. Sonrasında kaplar sıcaklığın $25\pm1^{\circ}\text{C}$, oransal nemin $\%60\pm5$ olarak düzenlendiği karanlık koşullara sahip çimlendirme kabiniinde 3 farklı sürede (12, 24 ve 36 saat) tutulmuştur. Belirlenen her bir sürenin sonunda muamele gören tohumlar laboratuvar şartlarında vakumsuz desikatör içerisinde başlangıç tohum ağırlığına ulaşıncaya kadar kurutulmuştur (Şekil 1a). Çimlenme testleri için tabanına kurutma kağıdı serilmiş 9 cm çaplı petri kaplarının içerisine ve her kapta 50 tohum ve 4 tekerrür olacak şekilde tohumlar homojen dağıtılarak yerleştirilmiş ve 5 ml saf su eklenmiştir. Kaplar lahana için belirlenen ISTA (2012) çimlenme

test kurallarına uygun olarak $20\pm1^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa ayarlanmış çimlendirme kabinine yerleştirilmiştir. Her gün yapılan sayımlarda yaklaşık 2 mm normal kökçüğe sahip olanlar çimlenmiş olarak kabul edilmiştir (Mis ve ark., 2022).

Çimlenme testleri verilerine göre aşağıda belirtilen özellikler test edilmiştir:

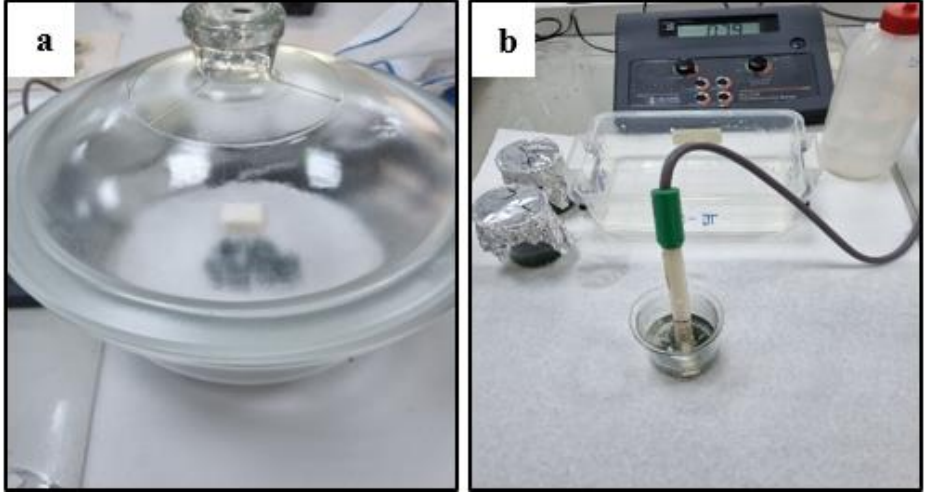
- Çimlenme oranı: On gün sürdürülen test sonrası toplam çimlenenlerin yüzdesi
- İlk sayımda çimlenenlerin oranı (%): ISTA (2012) kurallarına göre çimlenme testinin 5. gününde çimlenenlerin oranı (Tohum vigorunun göstergelerinden biri olarak kabul edilmiş ve sunulmuştur)
- Ortalama çimlenme süresi (OÇS) $= \sum nxd / \sum n$
 n : d gününde çimlenenlerin sayısı
 d : Çimlenme başlangıcından itibaren gün sayısı
- Çimlenme üniformitesi $= \frac{NSGS+NSGBS+NSGAP}{\text{Toplam çimlenen tohum sayısı}} \times 100$
(Ebone ve ark., 2020)

NSGS: En yüksek çimlenmenin görüldüğü gündeki tohum sayısı

NSGBS: *NSGS* öncesi günde çimlenen tohum sayısı

NSGAP: *NSGS* sonrası günde çimlenen tohum sayısı

Uygun hidropriming süresini belirlemek için çimlenme testi yanında muamele görmüş tohumlarda ayrıca elektriksel iletkenlik (EC) testi de yürütülmüştür. Bu amaçla 50 ml'lik beherlere tohumlar, 10 g tohum 40 ml saf su olacak şekilde konmuş ve sabit sıcaklıkta (20°C) 24 saat süreyle bekletilmiştir. Daha sonra her bir süzüntünün EC değeri (HANNA) birimi $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ olarak kaydedilmiştir (Şekil 1b).



Şekil 1: Hidropriming sonrası tohumların desikatör içerisinde kurutulması (a), lahana tohumlarında elektriksel iletkenlik ölçümü (b)

Çimlenme ve EC testinden elde edilen sonuçlar (Tablo 1) dikkate alınarak en uygun hidropriming süresinin 24 saat olduğuna karar verilmiş ve fide özelliklerinin belirlenmesi aşamasına (2. Aşama) geçilmiştir.

Tablo 1: Farklı priming sürelerinin (Kontrol, 12, 24, 36 saat) çimlenme oranı (%), ilk sayımda çimlenme oranı (%), ortalama çimlenme süresi (gün), çimlenme üniformitesi ve elektriksel iletkenlik (EC, $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) üzerine etkisi

Uygulama süresi	Çimlenme oranı	İlk sayım çimlenme oranı	Ortalama çimlenme süresi	Çimlenme üniformitesi	EC
12 saat	44,5 a	26,0 b	4,80 b	83,47	288,3
24 saat	54,0 a	42,5 a	4,45 b	92,50	311,7
36 saat	44,0 a	26,5 b	5,31 b	76,50	296,3
Kontrol	20,0 b	7,0 c	7,60 a	58,75	364,3
LSD (%1)	14,7789	9,6892	1,9267	ÖD*	ÖD

*ÖD: Önemli değil

Bu bölümde aşağıdaki uygulamaların etkileri test edilmiştir:

- 1. Hafta: [Tohuma hidropriming işlemi uygulanmış ve ekimden 7 gün sonra bir kere 24 saat süreyle ekstrem yüksek sıcaklığa ($36\pm 1^\circ\text{C}$) maruz bırakılmış]

- 2. Hafta: [Tohuma hidropriming işlemi uygulanmış ve ekimden 14 gün sonra bir kere 24 saat süreyle ekstrem yüksek sıcaklığa ($36\pm 1^{\circ}\text{C}$) maruz bırakılmış]
- Tekrarlı: [Tohuma hidropriming işlemi uygulanmış, ekimden 7 ve 14 gün sonra olmak üzere iki kez her birinde 24 saat süreyle ekstrem yüksek sıcaklığa ($36\pm 1^{\circ}\text{C}$) maruz bırakılmış]
- Hidropriming: Tohumlarda hidropriming işlemi yapılmış ancak ekstrem yüksek sıcaklık uygulanmamış
- Kontrol: (Hidropriming ve ekstrem yüksek sıcaklık uygulaması yapılmamış)

Ekstrem yüksek sıcaklık uygulamaları yukarıda belirtilen zamanlarda sıcaklık, nem ve ışığın kontrol edilebildiği iklim kabininde gerçekleştirilmiştir.

Fide değerlendirme testlerinde pH'ı 6.0, EC değeri 0.40 dS/m olan ve 14:10:18 oranlarında NPK gübre ilavesi yapılmış ticari sebze fidesi üretimine uygun torf kullanılmıştır (Klassman Potground-H, Doktor Tarsa Tarım San. ve Tic. A.Ş., Antalya-Türkiye). Uygulama gören (24 saat hidropriming) ve görmeyen (kontrol) tohumlar, her bir gözün 60 ml hacme sahip olduğu torf doldurulmuş çok gözlü kaplara yaklaşık 1 cm derinliğine ekilmiştir. Ekim sonrası, kaplar fide yetiştirme raflarına konmuştur. Kaplarda çıkış başladıktan sonra günde 14 saat süreyle fotosentetik akış yoğunluğu yaklaşık $195\text{--}210\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ olacak şekilde aydınlatma yapılmıştır. Sıcaklık ve oransal nem günlük kayıt alınarak izlenmiş ve deneme süresince maksimum ve minimum sıcaklıklar ve oransal nem değerleri sırası ile $18,7^{\circ}\text{C}$, $27,2^{\circ}\text{C}$ ve %69, %28 aralıklarında yer almış ve ortalama değerler 22°C , 24°C ve %52, %41 olarak kaydedilmiştir. Dikilebilir büyüklüğe gelen fideler (3-4 yapraklı) sökülerek köklerindeki ortamı (torf) uzaklaştırmak için önce su dolu kap içerisinde bekletilmiş sonra akan su altında dikkatlice yıkanmış ve yüzey suyunu uzaklaştırmak için kağıt havlu üzerinde kurumaya bırakılmıştır. Taze ağırlıkları, 0.0001 g'a hassas tartıda belirlenen fidelerde görülebilir yaprak sayısı kaydedilmiş, fidenin en gelişmiş yaprağında yaprak eni, boyu keza dijital kumpas ile fide kök boğazının hemen üzerinden gövde çapları ölçülmüş, fide kök boğazı ile gövde uç noktası esas alınarak gövde boyu ve kök boyu tespit edilmiştir. Daha sonra gövde ve kök kuru ağırlığı, materyalin 65°C 'de 48 saat kurutulmasıyla belirlenmiştir. Elde edilen verilere varyans analizi uygulanmış

ve ortalamalar arasındaki farklılığın önem derecesi 0,01 ve 0,05 düzeyinde kontrol edilmiş ve önemlilik grupları belirlenmiştir.

2. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Hızlı ve üniform tohum çimlenmesi ve fide gelişimi sebze türlerinin üretilmesinde başarının ön koşulu olarak değerlendirilir. Bu amaçla ekim öncesi tohum kalitesini artırma uygulamalarından yaygın kullanılanlardan biri de primingdir (Arın, 2025). Priming işlemleri içerisinde yer alan ve ucuz, kolay uygulanabilirliği ile öne çıkan hidroprimingte uygulama süresi, sıcaklık, tür, çeşit, lot, tohum yaşı ve kalitesi vb. bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir (İbrahim, 2019; Mavi ve ark., 2024). Lahanada uygun priming süresini belirlemek için yürütülen ön çalışmanın sonuçları Tablo 1'de sunulmuştur. Farklı sürelerde hidropriming işlemine tabi tutulan tohumlar ile kontrol tohumları arasında EC değerleri bakımından keza çimlenme özellikleri içerisinde yer alan çimlenme üniformluğu açısından görülen farklılığın önemli olmadığı, buna karşın tüm hidropriming uygulamalarının kontrole göre çimlenme oranları ve çimlenme sürelerinde önemli, pozitif etki oluşturduğu görülmektedir. En yüksek toplam çimlenme oranı ve ilk sayım çimlenme oranları ile en kısa ortalama çimlenme süresi %54,0, %42,5 ve 4,45 gün ile 24 saat süreyle hidropriming uygulaması yapılan tohumlardan elde edilmiştir (sırasıyla). Bu sonuçlar nedeniyle fide değerlendirme testleri için 24 saat süreyle hidropriming uygulaması tercih edilmiştir. Sebze türlerinin tohumlarında priming uygulamalarının genel olarak tohum kalitesini ya da düşük canlılıktaki tohumların çimlenme özelliklerini iyileştirdiği ifade edilmektedir (Arın ve Kıyak, 2003; Chen ve Arora, 2013; Lutts ve ark., 2016). Priming uygulamaları içerisinde özellikle hidroprimingin basit, düşük maliyetli uygulama olması nedeniyle önerilmesi yanında hardalda stres toleransı (Srivastava ve ark., 2010), tatlı mısırdaki çimlenme oranını arttırdığı (Ermiş ve ark., 2021a), biberde hidropriming ile yüksek çimlenme oranına ve en kısa sürede çimlenme süresine ulaşıldığı (Yıldırım ve ark., 2016), çimlenme oranlarının bamyada 19 farklı tohum uygulaması içerisinde 12 saatlik hidroprimingin çimlenme oranı ve süresini iyileştirdiği (Sharma ve ark., 2014), farklı süre ve konsantrasyonlarda su, KNO_3 ve salisilik asit çözeltilerinde tutulan domates tohumlarında uzun süreli hidropriming (4 gün) ve %1.2 KNO_3 uygulamalarında düşük çimlenme oranı ve hızı görüldüğü ve 24 saat süreyle

hidroprimingin tavsiye edildiği (Zaitalia ve ark., 2021), farklı sürelerde hidroprimingin yanında PEG ve KNO_3 'ün osmopriming amaçlı yaşlı pırasa tohumlarında kullanıldığı çalışmanın sonucunda en yüksek çıkış oranının 12 saatlik hidropriming ile elde edildiği bildirilmektedir (Arın ve Çerençe, 2023). Bu çalışmada da literatür bilgilerine benzer şekilde çimlenme oranı düşük lahana tohumlarında hidroprimingin tohum çimlenme özelliklerinde önemli iyileşmeler sağladığı tespit edilmiştir. Bu kazanım, genel olarak ekim öncesi tohumda çimlenme prosesinin önceden başlatılmış olmasıyla sağlanmaktadır.

Uygulama görmemiş (kontrol), uygulama görmüş (hidropriming) ve uygulama görüp ekimden sonraki 1. haftada, ekimden sonraki 2. haftada keza ekimden sonraki 1. ve 2. haftada olmak üzere iki kez 1 gün süreyle yüksek sıcaklığa tabi tutulan (tekrarlı) uygulamalar arasında fide özellikleri bakımından farklılıkların gövde kuru ağırlığı ve yaprak boyu hariç önemli olmadığı belirlenmiştir (Tablo 2, 3). Benzer bulgular Arın ve Çerençe (2023) tarafından yürütülen ve yaşlı pırasa tohumlarının farklı sürelerde hidro ve osmo-priming işlemine tabi tutulmasının oda ve sabit yüksek sıcaklık koşullarında yetiştirilen fidelerin morfolojik özelliklerinde önemli bir farklılık yaratmadığının belirlendiği çalışmadan da elde edilmiştir. Ancak, Arın ve Kıyak (2003), iki domates çeşidi tohumlarında ekim öncesi hidro ve halo-priming uygulamalarının çıkış ve fide özellikleri üzerine etkisini tuzluluk, kuraklık ve düşük sıcaklığı kapsayan stres koşullarında test etmişler ve sonuçta uygulamaların çimlenme süresini kısaltıp, fide boyu, ağırlığı ve çapında artışa yol açtığını belirlemişlerdir. Benzer şekilde karpuz tohumlarında priming uygulamaları çıkış değerleri yanında fide ağırlığında da artış sağlamıştır (Demir ve Mavi, 2008). Ayrıca, hidroprimingin kabakgil anaç tohumlarında çimlenme özellikleri yanında fide büyümesini arttırmak içinde kullanılabileceği (Ermış ve ark., 2021 b), 2 bamya çeşidinde hidro ve haloprimingin (hidropriming daha yüksek performans vermiştir) tohum çimlenmesi yanında üretimi de iyileştirdiği gözlenmiştir (Tania ve ark., 2020), hıyarda 6 saatten başlayarak 6 saat aralıklarla 8 farklı ıslatma süresinin test edildiği bir çalışmada 24 saat süreyle hidroprimingin tohum kalite parametreleri bakımından etkili olduğu tespit edilmiştir (Shakuntala ve ark., 2020). Bu çalışmada da istatistiki olarak önemli olmasa da uygulamalar arasında en yüksek kök ve gövde yaş ağırlıkları hidropriming yapılmış tohumların ekilmesinden elde edilen fidelerde kaydedilmiştir (Tablo 2, 3).

Tablo 2: Hidropriming uygulaması (24 saat) gerçekleştirilmiş tohumların fide evresine gelene kadar farklı zaman dilimlerinde sıcaklık stresi uygulamalarının (1. Hafta, 2. Hafta, 1.-2. Hafta (Tekrarlı), Hidropriming Uygulanmış Kontrol ve Kontrol) gövdenin; boyu (cm), yaş ağırlığı (g), kuru ağırlığı (g) ve çapı (mm) üzerine etkisi

	Gövde boyu	Gövde yaş ağırlığı	Gövde kuru ağırlığı	Gövde çapı
1.Hafta	11,14	1,598	0,145 b	1,58
2.Hafta	10,64	1,753	0,226 a	1,73
Tekrarlı	10,87	1,653	0,140 b	1,55
Hidropriming	11,59	1,828	0,164 b	1,69
Kontrol	10,60	1,645	0,145 b	1,63
LSD (%5)	ÖD*	ÖD	0,5954	ÖD

*ÖD: Önemli değil

Tablo 3: Hidropriming uygulaması (24 saat) gerçekleştirilmiş tohumların fide evresine gelene kadar farklı zaman dilimlerinde sıcaklık stresi uygulamalarının (1. Hafta, 2. Hafta, 1.-2. Hafta (Tekrarlı), Hidropriming Uygulanmış Kontrol ve Kontrol) kökün; boyu (cm), yaş ağırlığı (g), kuru ağırlığı (g) ve yaprağın; sayısı (adet), eni (cm), boyu (cm) üzerine etkisi

	Kök boyu	Kök yaş ağırlığı	Kök kuru ağırlığı	Yaprak sayısı	Yaprak eni	Yaprak boyu
1.Hafta	11,35	0,054	0,012	2,84	3,47	4,34 ab
2.Hafta	10,70	0,063	0,014	3,00	3,66	4,45 bc
Tekrarlı	11,89	0,079	0,012	2,91	3,46	4,25 c
Hidroprim	12,67	0,114	0,014	2,88	3,79	4,80 a
Kontrol	13,49	0,077	0,011	2,66	3,58	4,61 ab
LSD (%5)	ÖD*	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	0,3206

*ÖD: Önemli değil

3. SONUÇ

Bu çalışmada çimlenme ve fide özellikleri ile ilgili elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde 24 saat süreyle hidroprimingin çimlenmeyi iyileştirdiği ve uygulamaların fide morfolojik özelliklerinde önemli farklılıklar yaratmadığı belirlenmiştir. Denemede hidropriming işlemi istatistiksel olarak önemli farklılıklar yaratmamasına, kontrol de ekstrem sıcaklık ve hidropriming bulunmamasına rağmen 24 saat hidropriming uygulanmış ve ekstrem sıcaklığa

maruz kalmış fidelerin ele alınan fide kalite özellikleri bakımından kontrolden geri kalmadığı görülmüştür. Bu çalışmanın sonuçları dikkate alındığında özetle; hidropriming uygulamasının strese bağlı fide gelişim ve kalitesinde olumsuzlukları önlediği, bitki gelişimine destek olduğu gözlemlenmiştir. Denemede yer alan kısa süreli, keza tekrarlamalı yüksek sıcaklık stres koşullarında fide değerlerinde kontroldekine benzer sonuçların alınması, tohum uygulamasının (hidropriming) yararlı etkisi ile açıklanabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı (1919B012306844) kapsamında desteklenmiştir. Çalışmanın yürütülmesinde sağladığı finansal katkıdan dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- Abid, M., Ali, S., Qi, L. K., Zahoor, R., Tian, Z., Jiang, D., Snider, J. L., and Dai, T. (2018). Physiological and biochemical changes during drought and recovery periods at tillering and jointing stages in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Scientific Reports*, 8, 4615. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22990-6>
- Al-Kodmany, K. (2018). The vertical farm: a review of developments and implications for the vertical city. *Buildings*, 8(2), 24.
- AOSA. Association of Official Seed Analysts. (1983). Seed Vigor Testing Handbook, Contribution No. 32 to the Handbook on Seed Testing.
- Arın, L., Çerençe, Ö. (2023). Yaşlı pırasa (*Allium porrum* L.) tohumlarının çıkış ve fide gelişimine hidro ve osmopriming uygulamalarının etkisi. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 9 (2), 135-142.
- Arin, L., Kiyak, Y. (2003). The effects of pre-sowing treatments on emergence and seedling growth of tomato seed (*Lycopersicon esculentum* L.) under several stress conditions. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 6(11), 990-994.
- Arın, L. (2025). Effect of osmo-priming in naturally aged pepper seeds. In K. Özrenk and A. Bolat (Eds.), *International Studies in Agriculture, Forestry and Aquaculture Sciences* (pp. 98–106). Serüven Yayınevi.
- Ayyogari, K., Sidhya, P., Pandit, M.K. (2014). Impact of climate change on vegetable cultivation-a review. *International Journal of Agriculture, Environment&Biotechnology*, 7(1), 145-155.
- Borromeo, I., Del Gallo, M., Forni, C. (2025). Salt stress and tomato resilience: From somatic to intergenerational priming memory, *Horticulturae*, 11, 236.
- Butler, L. H., Hay, F. R., Ellis, R. H., Smith, R. D. and Murray, T. B. (2009). Priming and re-drying improve the survival of mature seeds of *Digitalis purpurea* during storage. *Seed Science Research*, 19(1), 1–7. <https://doi.org/10.1017/S0960258508186367>
- Chen, K., Arora, R. (2013). Priming memory invokes seed stress-tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 94, 33–45. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.03.005>

- Cho, R. (2011). Vertical farms: From vision to reality. *State of the Planet Blogs from the Earth Institute*. Columbia University. Erişim adresi: <https://news.climate.columbia.edu/2011/10/13/vertical-farms-from-vision-to-reality/>
- Deal, G. N. (2017). What is the green new deal. World Information Service on Energy, No:678
- Demir, İ. ve Mavi, K. (2008). Seed vigor tests for predicting seedling emergence of eggplant (*Solanum melongena*) seeds. *Seed Science and Technology*, 36(3), 660–668.
- Demirbaş, M., Aydın, R. (2020). 21. Yüzyılın en büyük tehdidi: Küresel iklim değişikliği. *Ecological Life Sciences*, 15(4), 163-179.
- Ebone, L. A., Caverzan, A., Chavarria, G., Margis-Pinheiro, M. (2020). Physiological and biochemical responses of soybean seeds and seedlings to abiotic stresses. *Agronomy*, 10(11), 1620. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111620>
- Ermiş, S., Öktem, G., Gökdaş, Z., Demir, I. (2021a). Hydropriming affects seed germination and seedling performance in sweet corn cultivars. *II.Balkan Agriculture Congress*, Edirne, Turkey, 29 August- 1 September, 2021.
- Ermiş, S., Öktem, G., Gökdaş, Z., Demir, İ. (2021b). Effect of hydro-priming on seed germination and early seedling growth in three cucurbit rootstock cultivars under salt and osmotic stresses. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 2(1), 1-5.
- FAO (2025). Agriculture production statistic database. Erişim adresi: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Givan, O., Edelist, D., Sonin, O., Belmaker, J. (2018). Thermal affinity as the dominant factor changing Mediterranean fish abundances. *Global Change Biology*, 24(1), e80-e89.
- Ibrahim, E. A. A. (2019). Fundamental processes involved in seed priming. In M. Hasanuzzaman and V. Fotopoulos (Eds.) *Priming and Pretreatment of Seeds and Seedlings: Implication in Plant Stress Tolerance and Enhancing Productivity in Crop Plants* (pp. 63-115). Singapore: Springer Singapore.
- ISTA. (2012). International rules for seed testing. Edition 2012. *International Seed Testing Association*. Bassersdorf, Switzerland.

- Klasmann-Deilmann. (2023). Potgrond H product data sheet. <https://www.klasmann-deilmann.com>
- Kurtar, E. S. (2010). Modelling the effect of temperature on seed germination in some ucurbits. *African Journal of Biotechnology*, 9(9), 1343-1353.
- Laouchez, M. (2016). As arable land disappears, here come the vertical farmers. Erişim adresi: <https://phys.org/news/2016-10-arable-verticalfarmers.html>.
- Lutts, S., Benincasa, P., Wojtyla, Ł., Kubala, S., Pace, R., Lechowska, K., Garnczarska, M. (2016). Seed priming: New comprehensive approaches for an old empirical technique. In A. A. Ahmad (Ed.), *Advances in seed biology* (pp. 1–46). Intech Open. <https://doi.org/10.5772/64420>
- Marcos-Filho, J. (2015). Seed vigor testing: An overview of the past, present and future perspective. *Scientia Agricola*, 72(4), 363–374.
- Mavi, K., Ermiş, S., Kenanoğlu, B. B., Özmen, K., Demir, İ. (2024). Priming Teknikleri. Editörler: A. Balkaya ve L. Arın, *Sebze Tohum Üretimi ve Teknolojisinde Güncel ve Yenilikçi Uygulamalar* (pp. 401-454). Iksad Publications, Ankara.
- Maynard, D. N., Hochmuth, G. J. (1997). Handbook for vegetable growers. John Willey and Sons., New York.
- Mis, S., Ermis, S., Powell, A. A., Demir, I. (2022). Radicle emergence (RE) test identifies differences in normal germination percentages (NG) of watermelon, lettuce and carrot seed lots. *Seed Science and Technology*, 50(2), 257-267.
- Parajuli, R., Thoma, G., Matlock, M. D. (2019). Environmental sustainability of fruit and vegetable production supply chains in the face of climate change: A review. *Science of Total Environment*, 650, 2863-2879.
- Shakuntala, N. M., Kavya, K. P., Macha, S. I., Kurnalliker, V., Patil, M. (2020). Studies on standardization of water soaking duration on seed quality in cucumber (*Cucumis sativus* L.) seeds. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(4), 1400-1404.
- Sharma, A. D., Rathore, S. V. S., Srinivasan, K., Tyagi, R. K. (2014). Comparison of various seed priming methods for seed germination, seedling vigour and fruit yield in okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench). *Scientia Horticulturae*, 165, 75-81.

- Srivastava, A., Lokhande, V. H., Patade, V. Y., Suprasanna, P., Sjahril, R., D'Souza, S.F. (2010). Comparative evaluation of hydro-, chemo-, and hormonal-priming methods for imparting salt and PEG stress tolerance in Indian mustard (*Brassica juncea* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*, 32, 1135-1144.
- Şalk, A., Arın, L., Deveci, M., Polat, S. (2008). Özel Sebzecilik. Onur Grafik Matbaa ve Reklam Hizmetleri, İstanbul, 448s.
- Tania, S. S., Rhaman, M. S., Hossain, M. M. (2020). Hydro-priming and halo-priming improve seed germination, yield and yield contributing characters of okra (*Abelmoschus esculentus* L.). *Tropical Plant Research*, 7(1), 86-93.
- Ventura, L., Dona, M., Macovei, A., Carbonera, D., Buttafava, A., Mondoni, A., Rossi, G., Balestrazzi, A. (2012). Understanding the molecular pathways associated with seed vigor. *Plant Physiology and Biochemistry*, 60, 196–206.
- Yan, J. (2015). Seed priming as an important approach to improve seed vigor. *Journal of Crop Improvement*, 29(3), 274–281. <https://doi.org/10.1080/15427528.2014.1002061>
- Yıldırım, K. C., Özden, E., Demir, İ., Sönmez, İ., Şimşek, M. (2016). Organik biber (*Capsicum annuum* L.) tohumlarında hidropriming uygulamalarının tohum kalitesine etkisi. *Bahçe*, 45, 191-194.
- Zaitialia, M., Nurul Atilia Shafienaz, H., Amyita Witty, U., Muhamad Arizal, B. (2021). Effect of seed priming treatments on seed quality of tomato (*Solanum lycopersicum*). *Transaction of the Malaysian Society of Plant Physiology*, 28, 159-164.
- Zulfiqar, F. (2021). Priming techniques for sustainable agriculture: An overview. *Sustainability*, 13(8), 4255. <https://doi.org/10.3390/su13084255>

BÖLÜM 4
BİTKİLERDE
KURAKLIK STRES YÖNETİMİ

Dr. Öğr. Üyesi Alper GÜNGÖR¹

<https://www.doi.org/10.5281/zenodo.17908165>

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

1. GİRİŞ

Günümüz koşullarında adından çok bahsedilen ve birçok çalışmada konu olarak işlenen küresel iklim değişikliği, canlı hayatının her aşamasında etkili olmaktadır. Gerek insanlar, gerekse hayvanlar ve bitkiler için bu olumsuz durum karşısında tedbir alınmak zorundadır.

İklim değişikliği, dünyanın başlangıcından günümüze kadar geçen sürede doğal nedenler ile değil, sanayi gelişimi, ormansızlaştırma, yanlış arazi kullanımı ve fosil yakıtlara bağlı olarak atmosfere bırakılan gazların oluşturduğu sera etkisine doğrudan bağlıdır (Öztürk, 2015). İklim değişikliğinin sonucunda; hava sıcaklığının artması, yağışların azalması, üniform bir yağış rejiminin olmaması ve hali hazırdaki su kaynaklarının olumsuz etkilenmesi gibi tarımı doğrudan etkileyen unsurlar dikkat çekici hal almıştır. Bu durum ise; hayvansal üretimin yanında bitkisel üretimi doğrudan etkisi altına alarak söz sahibi olmuştur. Kuraklık, toprak su içeriğinin eksilmesi esasına dayanmaktadır. Bu sayede bitkilerde fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler düzeyde ciddi değişimlerden kaynaklanan olumsuz sonuçları beraberinde getirmektedir. Bunun sonucunda büyüme ve gelişme etkilenmekte, verim kayıpları kaçınılmaz olmaktadır. Bitkiler su eksikliğine maruz kalmaları halinde çeşitli ve kapsamlı bir şekilde savunma mekanizmalarını devreye sokarlar. Bunu hayatta kalmak için geliştirdikleri bir adaptasyon yeteneği olarak tanımlamak mümkündür. Bu adaptasyon mekanizmalarının merkezinde ise bitkisel düzenleyiciler yer almaktadır. Bitkisel düzenleyiciler, bitkilerde özellikle stres anında sentezlenerek bitkilerin büyüme, gelişme ve çevresel tepkileri düzenleme görevi üstlenirler. Bitkilerde doğal sinyal molekülleri olan bu hormonlar, bitki mekanizmasında düşük konsantrasyonlarda üretilmesine rağmen stres anında çok kritik görevlerde yer alırlar. Bu hormonların hücre içindeki sentezlenmesi, birbiri ardında görevler üstlenmesi ve birbirleriyle etkileşimleri strese karşı toleransı ya da hassasiyeti belirleyen en temel faktörlerdendir.

Strese karşı bitkilerin verdiği yanıtların dinamik doğasını ve kilit görevi üstlenen bitkisel düzenleyicilerin vejetasyon süreci içerisindeki rollerinin yanı sıra sinyal yolları ve etkileşim mekanizmalarının derinlemesine incelenmesi, bitki stres yönetiminde bu moleküllerin potansiyellerini anlamaya ve çözüm oluşturmaya büyük katkı sağlayacaktır.

2. KURAKLIK STRESİ

Kuraklık bölgelere göre değişkenlik göstermekle birlikte toprak sistemi üzerinde fiziksel, kimyasal ve biyolojik düzeyde önemli bozulmalara yol açan, bitkilerin en çok maruz kaldığı ve etkilerinin en çok zarar verdiği abiyotik stres faktörüdür. Küresel iklim değişikliğine bağlı olarak görülen aşırı hava değişimleri, yağış rejimlerinde gözlenen düzensizlikler, tarımsal üretimi doğrudan tehdit eden kuraklık olaylarının süresini, sıklığını ve şiddetini artırmaktadır (Lesk ve ark., 2016). Toprakta nem içeriğindeki azalma kullanılabilir su miktarının düşmesine, agregat yapısının bozulmasına ve toprak yüzeyinde çatlakların oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum, toprakta infiltrasyonu olumsuz etkilerken, hava-su dengesinin bozulması ve kök gelişiminin sınırlandırılması gibi hayati fonksiyonlara karşı tehdit oluşturmaktadır. Kuraklık koşullarında toprakta mikrobiyal aktivite azalacağı için organik madde ayrışması ve besin elementlerinin hareketliliği yavaşlar, bu da bitki beslenmesini sınırlandırmaktadır. Bunun sonucunda tuz birikimi ve pH değişiklikleri gibi kimyasal dengesizlikler ortaya çıkabilir. Mikrobiyal biyokütle ve enzimatik aktiviteler de topraktaki nem ile doğrudan ilişkili olduğundan, uzun süreli yaşanan kuraklık biyolojik süreçleri baskılar ve toprak verimliliğini azaltmaktadır. Bu nedenle kuraklık, hem bitki gelişimini hem de toprak sağlığını bozarak tarımsal sürdürülebilirliği tehdit eden bütüncül bir stres faktörüdür (Lal, 2004; Munns ve Tester, 2008).

Levitt (1980) kuraklığı, fizyolojik kuraklık ve gerçek kuraklık olarak iki başlık altında incelemiştir. Fizyolojik kuraklıkta toprakta bir miktar su mevcut olsa bile toprak içerisindeki yüksek tuzluluk veya düşük sıcaklık sebebi ile bitkinin bu suyu kullanamaması söz konusu olduğunu, gerçek kuraklıkta ise toprak içerisinde bitkinin kullanabileceği suyun olmayışı olarak tanımlamıştır. Passioura (1996) ise kuraklığı, sadece su eksikliği olarak değil, Toprak, bitki, su ve atmosfer etkileşiminin bir sonucu olarak tanımlamış ve kuraklığın tarım üzerindeki etkisini bitkinin suyu alması, bu suyu iletmesi ve metabolizmada kullanma verimliliği olduğunu belirtmiştir. Kramer (1983), bitkinin maruz kaldığı kuraklık stresinin şiddetini belirleyen en temel faktörlerin; toprak su içeriği, atmosferik buhar basıncı açığı ve bitkinin su iletimindeki mekanizma olduğunu belirtmiştir. Kuraklık; meteorolojik, hidrolojik, tarımsal, ekolojik, fizyolojik ve sosyo-ekonomik olarak sınıflandırılabilir. Genel olarak kuraklık, ortalama değerlerin altına düşen nem seviyesi olarak bilinmektedir. Tarımsal

kuraklık bitkilerin tohumdan hasada kadar ihtiyaç duyduğu nem miktarının o anda toprakta bulunan ve bitkinin kökleri aracılığı ile alarak metabolik süreçlerde kullanabilmesi ile ilgilidir. Diğer bir ifade ile; toprakta mevcut olan suyun bitki tarafından yeterli düzeyde alınamaması durumudur ve bu durum bitkide fizyolojik, morfolojik, biyokimyasal ve moleküler düzeydeki adaptasyonların birbiriyle ilişkili olan çok çeşitli stres yanıtlarını tetiklemektedir (Farooq ve ark., 2009). Bitkilerin stres anında verdiği tepkiler bu adaptasyon mekanizmalarının maruz kalma süresi, şiddeti ve miktarı ile doğrudan etkilidir. Çok boyutlu olarak yaşanan kuraklık stresi, tek bir bitkinin büyüme ve gelişme evresinden hasat zamanına kadar bile değişken hassasiyette etkisini göstermektedir. Bu durum, her bitkinin vejetasyon süresinin farklı olduğu gibi bu süre boyunca değişkenlik gösteren her evrede suya olan ihtiyacının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Zlatev ve Lidon (2012), Bitkilerin kuraklık stresine verdikleri yanıtların, kuraklık stresinin şiddetine göre farklılık gösterdiğini, hafif kuraklıkta adaptasyon mekanizmalarının, şiddetli kuraklıkta ise hayatta kalma stratejilerinin ön plana çıktığını belirtmiştir. Dönemsel su eksikliği yaşayan bitkilerde ciddi verim kayıpları oluşmaktadır. Bitki büyümesi ve önemli ürünlerin tarımsal verimi, kurak bölgelerdeki koşullardan olumsuz etkilenmektedir (Suzuki ve ark., 2016; Ray ve ark., 2019; Cotrina Cabello, ve ark., 2023). Bitkisel üretimde doğrudan etkili olan kuraklık, günümüzdeki birçok çalışmaya konu olmakla birlikte, bitki bünyesindeki tüm çalışma mekanizmaları cevap bulamamıştır. Ancak; bitki içerisindeki bu mekanizmalar tam olarak anlaşılması sayesinde kuraklık yönetiminin sürdürülebilirliği sağlanabilecektir. Tarımsal faaliyetler ancak sürdürülebilir yöntemlerle gerçekleştirildiği zaman, doğa ve doğal kaynakların yanısıra yerel topluluklara ve gelecek nesillere önemli katkıları olacaktır (Güngör, 2025).

3. Kuraklık Stres Mekanizmaları

Olumsuz çevre şartlarına rağmen yaşamını sürdüren bitkinin canlı olarak kalabilme kabiliyeti “stres dayanıklılığı” veya “stres direnci” olarak tanımlanmaktadır (Levitt, 1980). Bitkiler hareketsiz canlılar oldukları için, olumsuz koşullara karşı çeşitli savunma ve adaptasyon mekanizmaları geliştirmişlerdir. Bu mekanizmalar öncelikle su kaybını azaltma yönündedir. Olumsuz koşulların devam etmesi sonrasında ise; metabolik süreçleri

dengelemeyi ve hücre yapısını korumayı amaçlayan karmaşık mekanizmalar yerini alır. Kuraklık stresine verilen yanıtlar genellikle ozmotik düzenleme, stoma kapanması, hormon sinyalizasyonu, antioksidan savunma sistemlerinin aktivasyonu ve stresle ilişkili olan genlerin düzenlenmesi gibi çok çeşitli ve katmanlı süreçleri içerir. Bu savunma yollarını anlamak, stres toleransı yüksek bitki türleri geliştirmek ve sürdürülebilir tarım stratejileri oluşturmak için büyük önem taşımaktadır (Mittler, 2002; Chaves ve ark., 2003; Shinozaki ve Yamaguchi-Shinozaki, 2007).

Yapılan çalışmalarda, kuraklığa dayanıklı ve kuraklığa duyarlı olmak üzere farklı kombinasyonlar altında bitki büyüme ve fizyolojik özellikler karşılaştırılarak bitkilerin stres mekanizmaları açıklanmaya çalışılmıştır (Sales ve ark., 2013). Ancak bu konudaki çalışmalar karmaşık bir yapı olan ve stres altında bitkisel tepkimeleri açıklamada yetersiz kalabilmektedir. Bazı bitkiler kurak koşullardan kaynaklanan strese bağlı olarak kök uzunluğunda artış, stoma kapanmasında düzenleme ve ozmoregülan birikiminde artış gibi morfo-fizyolojik mekanizmalarla tepki oluştururken; bazıları vejetasyon sürecinde hücre bölünmesini sınırlandırma, erken çiçeklenme ve biyokütle üretiminde azalma ile su tüketimini sınırlandırmaktadır. Örneğin buğday, arpa ve mercimek gibi bazı tarla bitkileri kurak koşullara nispeten daha toleranslı olurken, mısır ve pirinç gibi türler daha hassas olabildiği belirtilmiştir (Farooq ve ark., 2009). Kuraklık stresinin etkileri sadece bitkinin su dengesini değil, aynı zamanda fotosentez, stomal davranış, hücre büyümesi, turgor basıncı, hormon dengesi ve gen ekspresyonu gibi hayati süreçleri de etkiler (Flexas ve Medrano, 2002; Chaves ve ark., 2003). Özellikle erken evrelerde stomaların kapanması, fotosentetik karbon asimilasyonunu sınırlayarak büyüme hızını azaltır (Lawlor ve Cornic, 2002). Moleküler düzeyde ise stresle ilişkili genlerin (örneğin DREB, LEA, HSP) aktive edilmesiyle savunma mekanizmaları devreye girer (Zhu, 2016). Kuraklık ilk olarak, stoma fonksiyonunu tehlikeye atar, gaz değişimini bozar ve reaktif oksijen türlerinin (ROS) aşırı üretimine ve oksidatif stresin gelişmesine yol açar (Kar, 2011). İkinci olarak, su açığı hücre bölünmesini, yaprak yüzeyinin genişlemesini, gövdenin büyümesini ve kök hücrelerinin çoğalmasını engeller (Anjum ve ark., 2011). Tüm bu faktörler birlikte, bitki verimliliğini önemli ölçüde azaltır ve kuraklığa uzun süre maruz kalan kuraklığa duyarlı bitkilerin ölümüne yol açtığı bilinmektedir (Gill ve Tuteja, 2010). Kuraklık koşullarında çeşitler üzerindeki etki eş zamanlı

yaşanan diğer abiyotik stresler ile birleştiğinde daha olumsuz etkiler ortaya çıkarmaktadır. Yapılan çalışmalara göre; Birlikte görülen stres faktörleri, bitkinin metabolizmasında daha karmaşık ve güçlü etkiler yaratır. Kombine stres altında olan bitkilerde gen ekspresyonu değişmekte, antioksidan savunma sistemleri aktive edilmekte ve çeşitli hormonal tepkiler ortaya çıktığı savunulmaktadır (Chaves ve ark., 2009). Ayrıca, bitkilerin birden fazla strese (soğuk, sıcak, yüksek ışık, tuz ve patojen enfeksiyonu) verdiği yanıtlar, büyük ölçekli bir mikrodizi analizi kullanılarak hem kombinasyon halinde hem de ayrı ayrı incelenmiştir (Rasmussen ve ark., 2013). Bu analiz, farklı transkript tepki modellerini tanımlar nitelikte görülmüştür. Transkriptlerin yaklaşık %25'i, ayrı ayrı uygulanan farklı streslere benzer tepkiler gösterirken ayrı kombinasyonlarına göre farklı tepkiler verdiği belirlenmiştir. Bu transkriptlerin, sistemik kazanılmış direnç, programlanmış hücre ölümü ve savunma mekanizmalarıyla ilişkili olduğu açıklanmıştır. Transkriptlerin en yüksek oranı (%29), ayrı ayrı uygulanan farklı streslere farklı tepkiler verdiğini ve stres kombinasyonlarında ise yanıt olarak kontrol seviyelerine geri döndüğü belirtilmiştir. Bu durum bitkilerin stres eşik değerleriyle ilgili olup, kombine streslere veya yüksek maruziyet halindeki stres şiddetine savunmasız kalmasıyla ilişkilendirilebilir. Stres mekanizması duyarlı olan bitkiler elenirken toleransı nispeten daha yüksek olanlar canlılığını devam ettirmektedir (Suzuki ve ark., 2014).

Bitkilerde, büyüme ve gelişme evresinde tepkiler benzer olsa da içsel dayanıklılık, stresi aşma konusunda sınırlandırıcı bir faktördür. Bitkilerin vejetasyon zamanı ve uzunluğu, yaşadıkları stresin şiddeti ve strese maruz kalma etkisi bitki metabolizmasında, özellikle moleküler düzeyde çok büyük değişkenlik oluşturarak bitkilerdeki yanıtların farklı olmasına neden olmaktadır. Bu durum, bitkilerde tolerans düzeyini oluşturan yaşamsal sürdürülebilirliğin en önemli sürecini oluşturmaktadır.

4. SONUÇ

Küresel iklim değişikliğine paralel olarak ivme kazanan kuraklık, etkisini her geçen gün artırdıkça, kuraklıkla mücadele stratejilerinin, su yönetiminin ve adaptasyon sürecinin daha da detaylandırılması gerektiğini vurgulamaktadır. Yıllarca yapılan çalışmalar da bitkilerin kuraklık stresine verdiği tepkilerin açıklanmış olması, ıslah çalışmalarına yön vermiştir. Ancak

bitkilerin, kısmi veya tam kuraklık koşullarına nasıl tepki veridiğı, moleküler düzeyde değışimleri ve enzimsel aktivite düzeylerinin yer aldığı hedef-sonuç odaklı yaklaşımların açıklanması sayesinde küresel etkinin hafifletilmesinin önü açılalabilecektir. Günümüzde mevcut üretim miktarının korunması ve geliştirilmesi ekonomik gelir düzeyinin artmasına ve çiftçiler başta olmak üzere tüm halkın yaşam kalitesinin yükselmesinde çok önemlidir.

KAYNAKÇA

- Anjum, S. A., Xie, X., Wang, L. C., Saleem, M. F., Man, C., & Lei, W. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African journal of agricultural research*, 6(9), 2026-2032.
- Bharath, P., Gahir, S., & Raghavendra, A. S. (2021). Absciscic acid-induced stomatal closure: An important component of plant defense against abiotic and biotic stress. *Frontiers in Plant Science*, 12, 615114.
- Cao, L., Zhang, S., Feng, L., Qiang, B., Ma, W., Cao, S., & Zhang, Y. (2024). Metabolic pathways regulated by strigolactones foliar spraying enhance osmoregulation and antioxidant defense in drought-prone soybean. *BMC Plant Biology*, 24(1), 980.
- Chaves, M. M., Flexas, J., & Pinheiro, C. (2009). Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, 103(4), 551–560.
- Chaves, M. M., Maroco, J. P., & Pereira, J. S. (2003). Understanding plant responses to drought—from genes to the whole plant. *Functional plant biology*, 30(3), 239-264.
- Cotrina Cabello, G. G., Ruiz Rodriguez, A., Husnain Gondal, A., Areche, F. O., Flores, D. D. C., Astete, J. A. Q., ... & Cruz Nieto, D. D. (2023). Plant adaptability to climate change and drought stress for crop growth and production. *CABI Reviews*, (2023).
- Fahad, S., Hussain, S., Bano, A., Saud, S., Hassan, S., Shan, D., ... & Huang, J. (2015). Potential role of phytohormones and plant growth-promoting rhizobacteria in abiotic stresses: consequences for changing environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(7), 4907-4921.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N. S. M. A., Fujita, D. B. S. M. A., & Basra, S. M. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. In *Sustainable agriculture* (pp. 153-188). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Flexas, J., & Medrano, H. (2002). Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. *Annals of botany*, 89(2), 183-189.
- Giovannoni, J. J., & El-Rakshy, S. (2004, June). Genetic regulation of tomato fruit ripening and development and implementation of associated

- genomics tools. In V International Postharvest Symposium 682 (pp. 63-72).
- Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant physiology and biochemistry*, 48(12), 909-930.
- Güngör, A. (2025). The Impact of Agricultural Activities on Wetland Ecology and the Preservation of Sustainability. *Black Sea Journal of Agriculture*, 8(6), 903-908.
- Haifaa, M. I., & Moses, C. (2022). Effects of foliar and soil application of gibberellic acid (GA3) at different growth stages on agronomic traits and yield of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Agricultural Science*, 14(6), 55.
- Hashem, H. A., & Khalil, R. (2023). Insight into the interaction of strigolactones, abscisic acid, and reactive oxygen species signals. In *Reactive Oxygen Species: Prospects in Plant Metabolism* (pp. 179-211). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Kar, R. K. (2011). Plant responses to water stress: role of reactive oxygen species. *Plant signaling & behavior*, 6(11), 1741-1745.
- Klee, H. J., & Giovannoni, J. J. (2011). Genetics and control of tomato fruit ripening and quality attributes. *Annual review of genetics*, 45(1), 41-59.
- Kramer, P. J. (1983). Problems in water relations of plants and cells. In *International review of cytology* (Vol. 85, pp. 253-286). Academic Press.
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *science*, 304(5677), 1623-1627.
- Lawlor, D. W., & Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, cell & environment*, 25(2), 275-294.
- Lesk, C., Rowhani, P., & Ramankutty, N. (2016). Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature*, 529(7584), 84-87.
- Levitt, J. (1980). *Responses of Plants to Environmental Stress, Volume 1: Chilling, Freezing, and High Temperature Stresses* (pp. 497-pp).
- Ma, N., Hu, C., Wan, L., Hu, Q., Xiong, J., & Zhang, C. (2017). Strigolactones improve plant growth, photosynthesis, and alleviate oxidative stress under salinity in rapeseed (*Brassica napus* L.) by regulating gene expression. *Frontiers in plant science*, 8, 1671.

- Mansoor, S., Mir, M. A., Karunathilake, E. M. B. M., Rasool, A., Ștefănescu, D. M., Chung, Y. S., & Sun, H. J. (2024). Strigolactones as promising biomolecule for oxidative stress management: A comprehensive review. *Plant Physiology and Biochemistry*, 206, 108282.
- Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in plant science*, 7(9), 405-410.
- Morgan, P. W., & Drew, M. C. (1997). Ethylene and plant responses to stress. *Physiologia Plantarum*, 100(3), 620-630.
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59(1), 651-681.
- Noreen, S., Ashraf, M., Hussain, M., & Jamil, A. (2009). Exogenous application of salicylic acid enhances antioxidative capacity in salt stressed sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants. *Pak. J. Bot*, 41(1), 473-479.
- Öztürk, N. Z. (2015). Bitkilerin kuraklık stresine tepkilerinde bilinenler ve yeni yaklaşımlar. *Turkish Journal Of Agriculture-Food Science And Technology*, 3(5), 307-315.
- Passioura, J. B. (1996). Drought and drought tolerance. *Plant growth regulation*, 20(2), 79-83.
- Quamruzzaman, M., Manik, S. N., Shabala, S., & Zhou, M. (2021). Improving performance of salt-grown crops by exogenous application of plant growth regulators. *Biomolecules*, 11(6), 788.
- Ray, D. K., West, P. C., Clark, M., Gerber, J. S., Prishchepov, A. V., & Chatterjee, S. (2019). Climate change has likely already affected global food production. *PloS one*, 14(5), e0217148.
- Sales CR, Ribeiro RV, Silveira JA, Machado EC, Martins MO, Lagoa AM. (2013). Superoxide dismutase and ascorbate peroxidase improve the recovery of photosynthesis in sugarcane plants subjected to water deficit and low substrate temperature. *Plant Physiology and Biochemistry* 73C: 326–336.
- Shinozaki, K., & Yamaguchi-Shinozaki, K. (2007). Gene networks involved in drought stress response and tolerance. *Journal of experimental botany*, 58(2), 221-227.
- Suzuki, N., Rivero, R. M., Shulaev, V., Blumwald, E., & Mittler, R. (2014). Abiotic and biotic stress combinations. *New Phytologist*, 203(1), 32-43.

- Suzuki, N., Bassil, E., Hamilton, J. S., Inupakutika, M. A., Zandalinas, S. I., Tripathy, D., & Mittler, R. (2016). ABA is required for plant acclimation to a combination of salt and heat stress. *PloS one*, 11(1), e0147625.
- Ullah, A., Hazrat, A., Khan, B. A., Saqib, S., & Ullah, F. (2025). Mitigating lead stress in barley using gibberellic acid (GA3): effects on morpho-physiological and biochemical parameters. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-12.
- Wang, X., Wen, H., Suprun, A., & Zhu, H. (2025). Ethylene signaling in regulating plant growth, development, and stress responses. *Plants*, 14(3), 309.
- Wani, S. H., Kumar, V., Shriram, V., & Sah, S. K. (2016). Phytohormones and their metabolic engineering for abiotic stress tolerance in crop plants. *Crop J*, 4(3), 162-176.
- Zhang, Z. G., Zhou, H. L., Chen, T., Gong, Y., Cao, W. H., Wang, Y. J., ... & Chen, S. Y. (2004). Evidence for serine/threonine and histidine kinase activity in the tobacco ethylene receptor protein NTHK2. *Plant physiology*, 136(2), 2971-2981.
- Zhu, J. K. (2016). Abiotic stress signaling and responses in plants. *Cell*, 167(2), 313–324.
- Zlatev, Z., & Lidon, F. C. (2012). An overview on drought induced changes in plant growth, water relations and photosynthesis. *Emirates Journal of Food & Agriculture (EJFA)*, 24(1).

BÖLÜM 5

BİTKİ VİROLOJİSİNDE BİTKİ BÜYÜMESİNİ TEŞVİK EDEN RİZOBAKTERİLERE (PGPR) DAYALI SÜRDÜRÜLEBİLİR MÜCADELE STRATEJİLERİ

Dr. Cemile TEMUR ÇINAR¹

Yük. Zir. Müh. Tuğba ERDOĞAN²

<https://www.doi.org/10.5281/zenodo.17908187>

¹ Erciye Üniversitesi, Ziraat Fakültesi , Bitki Koruma Bölümü, Kayseri, Türkiye.
ctemur@erciyes.edu.tr, orcid id: 0000-0002-0248-1835

² Erciye Üniversitesi, Ziraat Fakültesi , Bitki Koruma Bölümü, Kayseri, Türkiye.
tgberdgn38@gmail.com, orcid id: 0000-0001-9105-9451

1. GİRİŞ

Gıda, insan yaşamının temel ihtiyaçları arasında yer almaktadır ve son on yılda küresel gıda arzı; artan nüfus, hastalık bulaşmalarının çoğalması, kaynak kıtlığı ve iklim değişikliği gibi ciddi zorluklarla karşı karşıyadır. Aynı zamanda, küresel gıda talebinin yüzyılın ortalarına kadar yaklaşık %35–56 oranında artması beklenmektedir (Ali ve ark., 2024). Tüm bunlar, önümüzdeki on yıllarda küresel gıda güvenliği için karanlık bir tabloyu işaret etmektedir. Bitki hastalıkları, mahsullerimizi ve ülkelerin gıda güvenliğini tehdit etmektedir. Bitki patojenleri, tarım ürünlerinde %41'e varan kayıplara neden olmaktadır (Ali ve ark., 2024). Buna ek olarak, iklim değişikliği sorunu durumu daha da kötüleştirmektedir; çünkü iklimsel dalgalanmalar, alışılmadık patojen türlerinin çoğalmasına ve istila etmesine neden olmakta, bu da ürün veriminde büyük düşüşlere yol açabilmektedir. Bu evrimleşen patojenlerin erken tespiti ve tahmini, hastalık yönetimi ve ciddi bulaşmaların önlenmesi açısından hayati öneme sahiptir.

İklim değişikliği sonucunda bitki virüslerinin epidemiyolojisinde günümüzde var olan ve gelecekte devam edeceği düşünülen değişiklikler olacağı öngörülmektedir. Küresel iklim değişikliği, bitki virüsleri üzerinde çeşitli doğrudan ve dolaylı etkilere sahiptir. Bitki virüsü hastalıkları, tarımsal ürünlerin verimliliğini artırmada ciddi bir kısıtlama olarak ortaya çıkmaktadır. Göç, iklim ve tarım uygulamaları gibi ekolojik faktörlerin bitki virüsü hastalıklarının ortaya çıkmasında önemli bir rol oynadığı düşünülmektedir. Değişen iklim koşulları, bir alana yeni taşınmış virüslerin veya vektörlerinin başarılı bir şekilde yayılmasına ve bu organizmaların daha önce kendileri için elverişsiz olan alanlarda yerleşmesine katkıda sunmaktadır (Trebecki ve ark., 2020). Artan uluslararası seyahat ve bitki materyalleri ticareti, üretim sistemlerine yeni virüs ve vektörlerinin gelme riskini arttırmıştır. İklim değişikliği çevresel uygunluğu artırır veya azaltırsa, konukçu popülasyonları üzerindeki seçim baskısındaki değişim, mevcut direnç genlerinin çeşitliliğinde değişimlere neden olabilir. Bu da virüs hastalıklarına duyarlılığı arttırabilir. Öngörülen iklim değişiklikleri, birçok coğrafi bölgede artması beklenen bitki virüslerinin ve vektörlerinin dağılımını ve hayatta kalmasını etkileyecektir. Dahası, iklim değişikliği bitki virüslerinin virülensliğini ve patojenitesini etkileyebilir ve sonuç olarak hastalık salgınlarının sıklığını ve ölçeğini artırabilir (Jones, 2014; Jones ve Naidu 2019). Bu nedenle, ilerideki

zorlukları daha iyi öngörmek ve gelecekte küresel gıda üretimini güvence altına almaya yardımcı olacak etkili ve sağlam kontrol stratejileri geliştirmek gerekmektedir.

Bitki Virüsleriyle Mücadelede Güncel Sorunlar ve Etkili Yönetim Stratejileri

Bir virüs türü tarafından enfekte edilen bitkide mozaikleşme, kloroz (sararma), nekroz, büyüme ve üreme fonksiyonlarında bozulma, gelişme geriliği, meyve deformasyonu ve düşük verim gibi belirtiler gözlemlenebilir (Mehetre ve ark., 2021). Bitkilerdeki viral enfeksiyon sorunu, iki veya daha fazla virüs aynı anda bir konukçuyu enfekte ettiğinde daha da kötüleşmektedir. Çünkü bu durumlarda belirtiler genellikle daha şiddetli olabilmekte ve hastalık bitkinin gelişimi boyunca devam edebilmektedir. Bu tür enfeksiyonlara karışık (veya çoklu) viral enfeksiyon adı verilmektedir (Rubio ve ark., 2020). Bitkideki belirtilerin ifadesi, karışık enfeksiyonun türüne bağlı olarak değişiklik göstermektedir; her etkileşim, konakçıdaki belirtiler üzerinde sinerjizm, antagonizm ya da etkisizlik şeklinde sonuçlanabilmektedir.

Virüs hastalıkların tespiti, mücadelesinde hayati bir bileşendir; bu amaçla polimeraz zincir reaksiyonu (PCR), gerçek zamanlı PCR, çoklu (multiplex) PCR ve izotop içermeyen moleküler hibridizasyon teknikleri gibi çeşitli yöntemler mevcuttur (James ve ark., 2006). Bu yöntemlerin kullanılması, virüs popülasyonunun yapısının tanımlanmasını ve karakterize edilmesini sağlar; böylece viral enfeksiyonun başlangıcını hedef alan yönetim stratejileri benimsenerek ürün kayıplarının önüne geçilebilir. Yüksek görülme sıklıkları nedeniyle, bitki virolojisinde kullanılan geleneksel ve yeni yöntemler, bitkilerde ve tarım ürünlerinde karışık enfeksiyonların neden olduğu belirtilerin erken tespiti ve yönetimine yönelik olarak yönlendirilmelidir. Bu hastalıkların kontrol altına alınması ise büyük oranda etken organizmanın hızlı ve kesin şekilde tanımlanmasına bağlıdır.

Günümüz tarım modelinde, bitki virüsleri önemli bir tehdit haline gelmiştir ve bitki sağlığı üzerindeki yıkıcı etkileri aracılığıyla ekonomik olarak kayda değer bir etki yaratmaktadır (Jones ve ark., 2014). Bitki viral hastalıklarının ekonomik etkisi göz ardı edilemez; çünkü bu hastalıklar tarım ürünlerine önemli zararlar vererek tarımsal tedarik zinciri üzerinde dalgalanmalara yol açmaktadır. Bu durum hem üretim maliyetlerini artırmakta

hem de pazarda arz ve talep dengesizliklerine neden olmaktadır (Aworh ve ark., 2021). Bitki virüsleri tarafından neden olunan hastalıklar tedavi edilemezken, bunların yayılmasını önlemek ve kontrol altına almak için çeşitli yönetim teknikleri uygulanabilir (Devi ve ark., 2024). Üretim alanlarındaki bitki viral enfeksiyonları için mevcut yönetim seçenekleri sınırlıdır; hücre içi patojenler olan virüsler, kimyasal kontrol önlemlerine karşı etkisizdir. Bu nedenle, virüslerle mücadelede alternatif stratejilerin geliştirilmesi ve uygulanması büyük önem taşımaktadır (Devi ve ark., 2024). Ayrıca, pestisitler ve diğer zararlı maddelerin kullanımı, virüslerin vektörler aracılığıyla iletimini engellemeye yardımcı olmaktadır. Ancak, bu maddeler çevresel güvenlik açısından gerekli ama istenmeyen çözümler olarak değerlendirilmektedir. Pestisitler genellikle yaygın olarak kullanıldığı için, böcek vektörleri bu maddelere karşı direnç mekanizmaları geliştirmiştir. Ayrıca, mutasyon ve gen rekombinasyonu yoluyla çok agresif virüs türleri ve suşlarının ortaya çıkma olasılığı, bitkilerde genetik olarak sağlanan direncin aşılmasına yol açmaktadır. Bu nedenle, etkinliği artırılmış ve çevresel güvenlik açısından daha uygun seçeneklerin belirlenmesi günümüz için büyük bir ihtiyaçtır (Jones ve ark., 2014; Devi ve ark., 2024). Bitki virüsleri için etkili kontrol sağlamanın en iyi yolu, entegre hastalık yönetimi yaklaşımını kullanmaktır. Bu, bitki sağlığı önlemleri, hijyen ve dezenfeksiyon, kültürel uygulamalar, konukçu direnci, biyolojik kontrol ve genetik mühendisliğini içermektedir. Viral hastalık yoğunluğu, viral hastalığı ileten vektör popülasyonunu kontrol etmek için kullanılan kimyasal bazlı böcek öldürücüler virüsün yayılımını azaltabilmektedir. Ancak, ortaya çıkan pestisit dirençli fitopatojen ve çevresel kirleticiler hakkındaki kamu endişeleri bunların uygulanmasını sınırlandırmaktadır. Bu durum, alternatif mücadele yöntemlerinin geliştirilmesi gerekliliğini daha da artırmıştır.

Bitki Büyümesini Teşvik Eden Rizobakterilerin (PGPR) Viral Enfeksiyonlara Karşı Rolü

PGPR'nin kullanımı, virüslerin yönetimi için çevre dostu bir araç olarak öne çıkmakta ve mahsul verimini artırdığı bilinmektedir. PGPR'ler, verim sürdürülebilirliğini artıran, bitki büyümesini teşvik eden ve bitkileri patojenlere karşı savunan endofitik veya rizosferik bakterilerdir (Sahran ve ark., 2011) Sinerjistik etki kapsamında, PGPR'ler diğer mikroorganizmaların bitki

büyümesini teşvik etmelerine veya patojenleri baskılamalarına yardımcı olur. Bitki büyümesini teşvik eden mikroorganizmalar (PGPR) tarafından üretilen bileşikler, konakçıların bağışıklık sistemi ile etkileşime girerek, bitkilerde fitopatojenlere karşı sistemik direnci indükleyebilir (ISR) (Choudhary ve ark., 2009; Maksimov ve ark., 2015). Bitkilerde Indüklenmiş Sistemik Direnç (ISR) bitkilerin patojenlere karşı savunma mekanizmalarını güçlendiren temel biyokimyasal yanıt yoludur (Pieterse ve ark., 1999; Hase ve ark., 2003). ISR, faydalı mikroorganizmalar (PGPR gibi) tarafından uyarılan bir direnç mekanizmasıdır. Toprakta bulunan bazı faydalı bakteriler, bitki kökleriyle etkileşime girerek bitkinin genel bağışıklık sistemini aktive eder. ISR'nin temel özellikleri şunlardır: ISR, jasmonat ve etilen hormonlarına dayalıdır ve bu hormonların sinyal yolları aracılığıyla aktif hale gelir. ISR, bitkinin lokal olarak enfekte olmadan önce, tüm yapılarında bir savunma hazırlığı yapmasına olanak tanır (Hase ve ark., 2003). Bu savunma mekanizması, bir tür "önceden hazırlanma" olarak düşünülebilir ve bitki patojenle karşılaştığında daha hızlı tepki verir. Bu mekanizma, bitkilerin çevresel stres ve patojenlere karşı çok yönlü bir savunma sistemine sahip olmasını sağlar (Van Loon ve ark., 1998).

PGPR, bitki köklerini kolonize etme yetenekleri ve besin alımını artırarak, büyüme faktörleri ve vitaminler üretilip bitki gelişimini ve verimini artırmalarıyla bilinmektedir. Ayrıca, sideroforlar, bakteriyosinler ve antibiyotikler üreterek birçok toprak kaynaklı fitopatojene karşı sistemik direnç oluşturabilir veya doğrudan antagonistik etki gösterebilirler (Beneduzi ve ark., 2012). PGPR'nin fungal ve bakteriyel hastalıklara karşı ticari kullanımı yaygın olsa da virüslere karşı etkisi üzerine yapılan çalışmalar da giderek artmaktadır. *Bacillus* türlerinin domates, biber ve Arabidopsis'te hıyar mozaik virüsü (CMV)'ne karşı antiviral yanıt oluşturduğu, patates bitkilerinde ise PVY ve Patates virüsü X (PVX)'e karşı etkili olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, *Pseudomonas* türlerinin domateste domates lekeli solgunluk virüsü (TSWV) ve domates mozaik virüsü (ToMoV), muz bitkisinde ise Banana bunchy top virus (BBTV) kaynaklı hastalık şiddetini azalttığı gözlemlenmiştir. PGPR'nin virüslere karşı tetiklediği savunma mekanizması, PGPR, konukçu bitki ve virüs arasındaki karmaşık etkileşimlere bağlıdır. Bu mekanizmanın genellikle salisilik asit (SA) sinyal yolunu içerdiği, bazı durumlarda ise hem SA hem de jasmonat (JA) sinyal yollarının birlikte rol oynadığı belirlenmiştir (Zehnder ve

ark., 2000; Lee ve ark., 2016; Ryu ve ark., 2004; Park ve ark., 2006; Beris ve ark., 2018).

Pseudomonas fluorescens suşlarının, domates bitkilerinde tomato spotted wilt virus (TSWV) karşı biyokontrol etkinliği hem tek başına hem de karışımlar halinde araştırıldığı bir çalışmada, *P. fluorescens* suşlarının tohum, toprak, yaprak veya fide daldırma yoluyla uygulanması, serada ve tarlada TSWV'yi önemli ölçüde azalttığı ve bitki büyümesini artırdığı belirlenmiştir. Yerli ırklar (CoP-1 ve CoT-1) ile yabancı bir ırk (CHAO), TSWV'yi baskılamada etkili olduğu bulunmuştur. *P. fluorescens* uygulanan domates bitkilerinde, polifenol oksidaz, β -1,3-glukanaz ve kitinaz aktivitelerinde artış gözlenmiş, kitinaz indüksiyonu western blot analizi ile doğrulanmıştır. SDS-PAGE ile 18 kDa'lık yeni bir proteinin indüklenmesi *P. fluorescens* ile muamele edilen bitkilerde tespit edilmiş, ancak sağlıklı ve *P. fluorescens* uygulanmamış virüs inoküle edilen kontrol bitkilerinde bulunmamıştır. İndirekt ELISA, *P. fluorescens* uygulanan domates bitkilerinde viral antijen konsantrasyonunun azaldığını ve bu durumun hastalık şiddetiyle ilişkili olduğunu açıkça göstermiştir. Ayrıca, *P. fluorescens* uygulanan tüm domates bitkilerinde kontrol bitkilerine göre büyüme ve verimde artış sağlanmıştır. Bu çalışma ile, bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler (PGPR), domates bitkilerinde TSWV'yi azaltmada ve verimi artırmada önemli bir rol oynayabileceği belirlenmiştir (Kandan ve ark., 2005).

Muz bitkilerinin köklerinden ve gövdelerinden izole edilen rizosfer ve endofitik bakteriler, banana bunchy top virus (BBTV) karşı biyokontrol etkinliği açısından test edilmiştir. *Pseudomonas fluorescens* (Pf1) ve endofitik *Bacillus* spp. (EPB22) karışımlarından oluşan biyoformülasyonlar, serada (%80) ve tarlada (%52) BBTV yoğunluğunu azaltmada etkili olmuştur. ELISA testi ile virüs titresinde (0.64) azalma, bu karışımla muamele edilen bitkilerde gözlenmiş, kontrol bitkilerinde ise daha yüksek bir titer (1.69) bulunmuştur. Hastalık kontrolüne ek olarak, bakteri ile muamele edilen bitkilerde verimde %53.33 artış gözlemlenmiştir. Bakteri ile muamele edilen bitkilerde, patogenezele ilişkili proteinler (PR), kitinaz, β -1,3-glukanaz ve savunma ile ilişkili enzimler (peroksidaz, polifenol oksidaz, fenilalanin amonyak liyaz) ile fenolik bileşikler önemli ölçüde aktive olduğu belirlenmiştir. Bu da BBTV'e karşı direnç oluşumunu tetiklenmiş olduğunu göstermiştir (Harish ve ark., 2009).

İki *Pseudomonas fluorescens* ırkının (Pfl ve VPT10) toz bazlı formülasyonu ve karışımı (kitinli ve kitinsiz) Tomato leaf curl virüsüne karşı sera ve tarla koşullarında test edilmiştir. Kitin içeren *Pseudomonas* (VPT10 + kitin) uygulanan domates bitkilerinde, virüs bulaşan bitkilerin ortalama yüzdesi önemli ölçüde düşük (%25) bulunmuş, semptom şiddeti azalırken, semptomların ortaya çıkışı dokuz gün kadar gecikmiştir. *Pseudomonas* ile muamele edilen bitkilerde (VPT10 + kitin) ve böcek vektörlerinde, tedavi edilmeyen bitkilere kıyasla düşük virüs titresi saptanmıştır. Sonuçlar, bitki büyümesini teşvik eden rizobakteri suşlarının ve talk tozu formülasyonlarının, domates yaprak kıvrıcılık virüsünün tarla koşullarında etkili yönetiminde potansiyel taşıdığını göstermektedir (Vasanthi ve ark., 2010).

Bacillus amyloliquefaciens suşunun MBI600'ün domates bitkilerinde antiviral etkisi test edildiği bir çalışmada, MBI600'ün toprak, yaprak veya toprak iyileştirme uygulamaları, iki farklı çevresel koşul altında Tomato spotted wilt virus (TSWV) insidansını %80'e kadar azaltmıştır. Ayrıca, MBI600'ün toprak uygulaması, Potato virus Y (PVY) sistemik birikimini geciktirmiştir. Salisilik asit (SA) veya jasmonik asit ile ilişkili savunma, hazırlık veya virüslere karşı temel savunma ile ilgili bir dizi genin transkripsiyonel analizi, MBI600 uygulaması sonrasında domateste SA sinyal yolunun indüklendiğini ve bitkilerin TSWV ve PVY enfeksiyonuna yanıt olarak belirgin gen ekspresyonu kalıpları gösterdiğini ortaya koymuştur (Beris ve ark., 2018).

Tobacco streak virus (TSV) ile inoküle edilmiş bitkilere, *B. amyloliquefaciens* (VB7) uygulaması yapılmış bir çalışmada TSV inoküle edilmiş kontrol grubuna göre yaprak başına 2.22 ve 3.00 lezyon sayısını azalttığı gözlemlenmiştir (kontrol: 25.28 lezyon cm⁻² alan). Ayrıca, saha koşullarında, *B. amyloliquefaciens* (VB7) ile yapılan toprak uygulaması ve yapraktan spreyleme, TSV insidansında %52'lik bir azalma sağlamıştır. *B. amyloliquefaciens* (VB7) ile tedavi edilen ve edilmeyen parsellerde TSV insidansı sırasıyla 21.67 (PDI) ve 45 (PDI) olarak ölçülmüştür. Bunun yanı sıra, *B. amyloliquefaciens* (VB7) pamuk verimini kontrol grubuna göre 149.45 g/bitki düzeyine çıkarmıştır. Sonuç olarak, *B. amyloliquefaciens* (VB7), pamukta TSV yönetimi için etkili bir antagonistik ajan olarak kullanılabilir olduğu rapor edilmiştir (Vinodkumar ve ark., 2018).

Bacillus amyloliquefaciens Ba13 suşunun tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) hastalığına karşı kontrol etkisini ve mekanizmasını araştırıldığı bir

çalışmada, kontrol ve Ba13 uygulaması ile beyazsineklerle doğal enfeksiyon sonrası iki farklı tedavi yöntemi uygulanmıştır. Bitki büyümesi, fizyolojik parametreler, hastalık şiddeti, yaprak virüs miktarı ölçülmüş; dirençle ilişkili gen ekspresyonu, savunma enzim aktivitesi ve rizosfer mikrobiyal topluluk yapısı analiz edilmiştir. Ba13 suşu, domates bitkilerinde enfeksiyon oranını, hastalık şiddetini ve yaprak virüs miktarını %48–52 oranında azalttığı belirlenmiştir. Ba13 uygulaması, kök gelişimini ve sürgün biyokütlesini belirgin şekilde iyileştirmiştir. Ayrıca, patogenezele ilişkili PR1, PR2 ve PR3 genlerinin ekspresyonunu artırmış ve domates yapraklarında fenilalanin amonyak liyaz, polifenol oksidaz, peroksidaz, β -1,3-glukanaz ve kitinaz aktivitelerini yükseltmiştir. *B. amyloliquefaciens* Ba13, TYLCV hastalığına karşı sistemik direnci doğrudan indükleyerek ve rizosferdeki faydalı mikroorganizmaların sayısını artırarak TYLCV hastalığının kontrolünde etkili olduğu rapor edilmiştir (Guo ve ark., 2019).

Bacillus subtilis EMCCN 1211 izolatı, PVY yönetimi ve patates bitkilerinde sistemik direnç indüksiyonu (ISR) için biyokontrol ajanı olarak araştırılmıştır. PVY ile inokülasyondan 48 saat önce ve 10 gün sonra, yaprak ve toprak uygulamaları ile 108 CFU/mL konsantrasyonunda *B. subtilis* süspansiyonu uygulanmıştır. Virüs inokülasyonundan önce *B. subtilis* uygulaması, belirtilerde önemli bir azalma ve ELISA testlerinde tamamen negatif sonuçlar göstermiştir. Buna karşılık, RT-PCR tüm bakteriyel olarak tedavi edilen bitkilerde PVY amplifikasyonu (825 bp) tespit etmiştir. Toprak uygulaması, PVY inokülasyonundan önce yapılmış ve PVY birikim seviyesini 10. günde %32.79, 35. günde ise %72.26 oranında azaltarak bitki direncini etkili bir şekilde indüklemiştir. *B. subtilis*, bitki büyümesini teşvik etmiş ve patates bitkilerinin taze ve kuru ağırlıkları sırasıyla %61.40 ve %56.6 oranında artmıştır ($p \leq 0.05$). Ayrıca, patogenezele ilişkili PR-1 geninin transkripsiyonel değişiklikleri 10. günde incelenmiş ve daha düşük PVY birikiminin, PR-1 savunma geni ekspresyonunun baskılanmasıyla ilişkili olduğu bulunmuştur. Bu veriler, *B. subtilis* toprak uygulamasının PVY birikimini ve hastalık şiddetini etkili bir şekilde baskıladığını ve bu nedenle antiviral biyokontrol ajanı olarak kullanılabileceğini göstermektedir (Amin ve ark., 2023).

Cucumber mosaic virus (CMV) neden olduğu mozaik hastalığına karşı, *Luffa acutangula* (L.) Roxb), *Bacillus pumilus* (BSC 4), *B. subtilis* (Bbv 57) ve *B. subtilis* (BST 8) izolatları kullanılmıştır. CMV hastalığının şiddetini sera

koşulları altında azaltma potansiyeli göstermiştir. Uyum testleri, bu izolatların birbirleriyle uyumlu olduğunu ortaya koymuştur. Sonuçlar, hastalık şiddetinde kontrol grubuna göre %49.98'lik bir azalma göstermiştir. Gen ekspresyon analizi, peroksidaz, polifenol oksidaz, katalaz ve süperoksit dismutaz gibi savunma genlerinin bitkilerinde yukarı yönde ifade edildiğini ortaya koymuştur. Bu genlerin yukarı yönlü ifadesi, Bacillus konsorsiyumu tedavi edilen bitkilerde sistemik direnç indüksiyonunu gösteren savunma yollarının aktive olduğunu belirtmektedir. Tüm gen ekspresyonları, tedavi edilen bitkilerde iki ila üç kat artış gösterirken, katalaz için en yüksek ifade salisilik asit ile tedavi edilen bitkilerde bulunmuştur (Karthikeyan ve ark., 2024).

PGPR'lar, bitki virüslerine karşı doğrudan antiviral etki sağlayabilen ve bitkinin savunmasını güçlendiren yenilikçi biyolojik mücadele ajanlarıdır. Kimyasal seçeneklerin kısıtlı olduğu viral hastalıklarda PGPR tabanlı çözümler hem ekonomik hem çevre açısından önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

- Ali, F., Rehman, A., Hameed, A., Sarfraz, S., Rajput, N.A., Atiq, M. (2024). Climate Change Impact on Plant Pathogen Emergence: Artificial Intelligence (AI) Approach. In: Abd-Elsalam, K.A., Abdel-Momen, S.M. (eds) Plant Quarantine Challenges under Climate Change Anxiety. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-56011-8_9.
- Trebicki P. Climate change and plant virus epidemiology. *Virus Res.* 2020 Sep;286:198059. doi: 10.1016/j.virusres.2020.198059. Epub 2020 Jun 16. PMID: 32561376.
- Jones, R.A.C. & Naidu, R.A. 2019. Global dimensions of plant virus diseases: current status and future perspectives. *Annual Review of Virology*, 6, 387–409.
- Jones, R.A.C. 2014. Plant virus ecology and epidemiology: Historical perspectives, recent progress and future prospects. *Ann. Appl. Biol.*, 164, 320–347.
- Mehetre, G.T.; Leo, V.V.; Singh, G.; Sorokan, A.; Maksimov, I.; Yadav, M.K.; Upadhyaya, K.; Hashem, A.; Alsaleh, A.N.; Dawoud, T.M.; et al. Current developments and challenges in plant viral diagnostics: A systematic review. *Viruses* 2021, 13, 412.
- Rubio, L.; Galipienso, L.; Ferriol, I. Detection of plant viruses and disease management: Relevance of genetic diversity and evolution. *Front. Plant Sci.* 2020, 11, 1092.
- James, D.; Varga, A.; Pallas, V.; Candresse, T. Strategies for simultaneous detection of multiple plant viruses. *Can. J. Plant Pathol.* 2006, 28, 16–29
- Aworh, O.C. 2021. Food safety issues in fresh produce supply chain with particular reference to sub-Saharan Africa. *Food Control*, 123, 107737.
- Devi, B.M.; Guruprasath, S.; Balu, P.; Chattopadhyay, A.; Thilagar, S.S.; Dhanabalan, K.V.; Choudhary, M.; Moparthi, S.; Jailani, A.A.K. 2024. Dissecting Diagnostic and Management Strategies for Plant Viral Diseases: What Next? *Agriculture* , 14, 284. <https://doi.org/10.3390/agriculture14020284>.
- Sahran, B.S., Nehra, V. 2011. Plant growth promoting rhizobacteria: A critical review. *Life Sci. Med. Res. LMSR*, 21, 1–30.

- Choudhary, D.K.; Johri, B.N. 2009. Interactions of *Bacillus* spp. and plants with special reference to induced systemic resistance (ISR). *Microbiol. Res.*, 68, 1754–1759.
- Maksimov, I.V., Veselova, S.V., Nuzhnaya, T.V., Sarvarova, E.R., Khairullin, R.M. 2015. Plant growth-promoting bacteria in the regulation of plant resistance to stress factors. *Russ. J. Plant Physiol.* 62, 715–726.
- Pieterse, C. M. J., and L. C. van Loon. 1999. Salicylic acid-independent plant defense pathways. *Trends Plant Sci.* 4:52–58.
- Hase, S., J. A. van Pelt, L. C. van Loon, and C. M. J. Pieterse. 2003. Colonization of *Arabidopsis* roots by *Pseudomonas fluorescens* primes the plant to produce higher levels of ethylene upon pathogen infection. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 62:219–226.
- Van Loon, L. C., P. A. H. M. Bakker, and C. M. J. Pieterse. 1998. Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria. *Annu. Rev. Phytopathol.* 36: 453–483.
- Beneduzi, A., Ambrosini, A., & Passaglia, L. M. 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): their potential as antagonists and biocontrol agents. *Genetics and molecular biology*, 35, 1044-1051.
- Zehnder, G. W., Yao, C., Murphy, J. F., Sikora, E. R., Kloepper, J. W. 2000. Induction of resistance in tomato against cucumber mosaic cucumovirus by plant growth-promoting rhizobacteria. *Biocontrol*, 45, 127-137.
- Lee, G. H., Ryu, C. M. 2016. Spraying of leaf-colonizing *Bacillus amyloliquefaciens* protects pepper from Cucumber mosaic virus. *Plant disease*, 100(10), 2099-2105.
- Ryu, C. M., Murphy, J. F., Mysore, K. S., Kloepper, J. W. 2004. Plant growth-promoting rhizobacteria systemically protect *Arabidopsis thaliana* against Cucumber mosaic virus by a salicylic acid and NPR1-independent and jasmonic acid-dependent signaling pathway. *The Plant Journal*, 39(3), 381-392.
- Park, K. S., Paul, D., Ryu, K. R., Kim, E. Y., & Kim, Y. K. 2006. *Bacillus vallismortis* strain EXTN-1 mediated systemic resistance against potato virus Y and X in the field. *The Plant Pathology Journal*, 22(4), 360-363.
- Beris, D., Theologidis, I., Skandalis, N., Vassilakos, N. 2018. *Bacillus amyloliquefaciens* strain MBI600 induces salicylic acid dependent

- resistance in tomato plants against Tomato spotted wilt virus and Potato virus Y. *Sci Rep* 8, 10320. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-28677-3>.
- Kandan, A., Ramiah, M., Vasanthi, V.J., Radjacommar, R., Nandakumar, R., Ramanathan, A., Samiyappan, R. 2003. Use of *Pseudomonas fluorescens*-based formulations for management of tomato spotted wilt virus (TSWV) and enhanced yield in tomato. *Biocontrol Science and Technology*; 15(6): 553_569.
- Harish, M. Kavino, N. Kumar, P., Balasubramanian, R., 2009. Induction of defense-related proteins by mixtures of plant growth promoting endophytic bacteria against Banana bunchy top virus *Biol. Control*, 51 (1), pp. 16-25.
- Vasanthi, V. J., Kandan, A., Ramanathan, A., Raguchander, T., Balasubramanian P., Samiyappan R. 2010. Induced systemic resistance to tomato leaf curl virus and increased yield in tomato by plant growth promoting rhizobacteria under field conditions, *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 43:15, 1463-1472, DOI: 10.1080/03235400802536899.
- Vinodkumar, S., Nakkeeran, S., Renukadevi, P., Mohankumar, S. 2018. Diversity and antiviral potential of rhizospheric and endophytic *Bacillus* species and phyto-antiviral principles against tobacco streak virus in cotton. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 267, 42-51.
- Guo, Q., Li, Y., Lou, Y., Shi, M., Jiang, Y., Zhou, J., Sun, Y., Xue, Q., Lai, H. 2019. *Bacillus amyloliquefaciens* Ba13 induces plant systemic resistance and improves rhizosphere microecology against tomato yellow leaf curl virus disease. *Applied Soil Ecology*, 137, 154-166.
- Amin, H.A., El Kammar, H.F., Saied, S.M. et al. 2023. Effect of *Bacillus subtilis* on potato virus Y (PVY) disease resistance and growth promotion in potato plants. *Eur J Plant Pathol* 167, 743–758. <https://doi.org/10.1007/s10658-023-02774-0>.
- Karthikeyan, G., Barkavi, G., Harish, S., Varanavasiappan, S. 2024. Expression of defense responsive genes in tripartite interaction of cucumber mosaic virus and plant growth promoting rhizobacteria in ridge gourd (*Luffa acutangula* (L.) Roxb). *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 129, 102176.

CHAPTER 6

EFFECT OF CADMIUM STRESS ON PLANTS

Prof. Dr. Ferhad MURADOĞLU^{1*}
PhD Muhammad Arsalan MANZOOR²
Res. Assist. Şeyma BATUR¹

<https://www.doi.org/10.5281/zenodo.17908229>

^{1*} Faculty of Agriculture, Horticulture Dep., Bolu Abant İzzet Baysal University, Bolu, Türkiye, muradogluf@ibu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-6595-7100, seyma.batur@ibu.edu.tr, Orcid ID:0009-0003-2214-710X

² Graduate School of Education, Bolu Abant İzzet Baysal University, Bolu, Turkey ars.azeemi@gmail.com, Orcid ID: 0009-0001-6221-0738

INTRODUCTION

Pollution includes harmful changes to the environment that lead to health issues and ecological disruptions. Heavy metal toxicity is a major concern for both the environment and public health, as exposure to these metals is linked to numerous health problems. Common toxic heavy metals include arsenic (As), cadmium (Cd), mercury (Hg), lead (Pb), and nickel (Ni), among others. These metals can accumulate in living organisms, contaminate the food chain, and pose serious health risks. Various sectors, such as fertilizer manufacturing, transportation, industry, groundwater systems, and mining, contribute to heavy metal pollution. While some metals, like aluminum, can be naturally removed, others—such as lead, arsenic, and cadmium—tend to build up in biological tissues and the food chain, leading to chronic toxicity in living organisms. Metal toxicity depends on factors like the absorbed dose, route of exposure, and exposure duration. These factors can cause a range of diseases and result in significant cellular and tissue damage, mainly due to oxidative stress caused by free radicals. Cadmium is a heavy metal that is dispensable, poses significant hazard to plant health and agricultural productivity due to its persistence and toxicity even at trace concentrations. Originating from industrial discharges, mining, and phosphate fertilizers. Cadmium infiltrates the soil and is easily taken up by plant roots, disrupting critical physiological and biochemical processes. Its toxicity manifests through multiple pathways: competitive inhibition of essential nutrient uptake (e.g., Ca, K, Mg), initiation of stress via reactive oxygen species (ROS) overproduction, and impairment of photosynthetic machinery by degrading chlorophyll and damaging chloroplast ultrastructure. These disruptions lead to stunted growth, reduced biomass, and compromised yield. At the molecular level, Cd interferes with enzyme function, displaces cofactor metals, and alters stress-related gene expression; most crops suffer metabolic imbalances, threatening food security as Cd enters the food chain. Understanding Cd's phytotoxic effects and plant adaptive responses is vital for developing mitigation strategies, including phytoremediation, soil amendments, and breeding resistant cultivars, to guard ecosystems and human comfort. This review underscores the urgency of addressing Cd contamination in agriculture as well as highlights future research directions to alleviate its ecological and economic impacts. Heavy metals are recognized as some of the utmost toxic pollutants for environment due to their persistent and bio

accumulative characteristics, which pose significant risks to existing organisms (Ali *et al.*, 2019). The plants exposure to soil that is contaminated with metals knows as heavy metals has notably increased in recent years, threatening both the food chain and ecosystem (Ur Rahman *et al.*, 2020; Rizwan *et al.*, 2012). Since the industrial revolution, agro-ecological disturbances have escalated, and there is growing concern about their reduction due to exaggerated activities of human, including smelting, mining, and agricultural practices, have led to significant environmental contamination (Carvalho, 2017; Huang *et al.*, 2019). Contamination caused by environment is one of the major challenges facing modern culture today (Afzal *et al.*, 2019; Ali and Khan, 2017). Heavy metals are categorized as essential or non-essential heavy metals. Essential heavy metals including iron, copper, molybdenum, manganese, zinc and nickel are vital for physiological functions and growth of plants (Daulta *et al.*, 2022; Farooq *et al.*, 2016; Andresen *et al.*, 2018). In contrast, heavy metals that are non-essential, for example cadmium (Cd), lead (Pb) and mercury are not required for plant physiology and can cause ecological imbalances that lead to severe health issues due to their toxicity (Rizwan *et al.*, 2018; Zulfqar *et al.*, 2019). Industrial activities, pesticide use, and mining have driven a sharp rise in soil heavy-metal contamination in recent years, amplifying environmental and health concerns. (Sahito *et al.*, 2024) While heavy metals naturally occur in soils at trace levels, human activities like mining and industrial processes, along with localized agricultural practices, have led to elevated toxic levels in the environment (Rahimzadeh *et al.*, 2017).

Cadmium is categorized as a heavy metal, is widely recognized for its high toxic behavior in biological systems. This is primarily because of its non-essential nature, tendency to accumulate in living organisms (Kabata-Pendias, 2011). Cadmium exposure in humans has been associated with severe health issues, including infertility, kidney and bone diseases, and various forms of cancer (Alaee *et al.*, 2014). In plants Cadmium can trigger oxidative pressure (Soares *et al.*, 2019), disrupt nutrient balance, inhibit growth (Souza *et al.*, 2018; Borges *et al.*, 2019), also lead to chromosome aberrations (Pizzaia *et al.*, 2019). Cadmium is among most harmful metals that significantly hampers plant growth (Muradoğlu *et al.*, 2015). In its cationic form, cadmium is highly water-soluble (Hussain & Keçili, 2020), making it readily absorbed by both humans and plants. Due to non-biodegradable nature, cadmium poses significant risks

to natural resources (Kumar et al., 2021). Cadmium can move from the soil solution into plant roots through passive transport mechanisms, such as diffusion across cell walls (Rog Young et al., 2015). Human actions are the crucial source of environmental cadmium toxicity, largely due to conventional practices (like the pesticides and use of chemical fertilizers), industrial operations, and mining (Manzoor *et al.*, 2019; Rizwan *et al.*, 2018). Its presence is mainly due to human use in various applications, including as a stabilizer in PVC, a pigment, in batteries made up of Ni-Cd (Genchi et al., 2020). Cadmium's high agility in the system of plant (Gill *et al.*, 2012) allows for easy plant uptake and successive entrance into the food chain, which is injurious for both animals and humans (Paunov et al., 2018). Plant uptake depends on the specific form of cadmium, physical and chemical properties of soil (Zhi-bin et al., 2016). Cadmium is extremely toxic metallic element that disrupts normal physiological functions in living organisms and poses significant challenges for biodegradation (Yang et al., 2019; Ali & Khan, 2019). Cadmium contact has been associated to numerous health problems in humans, counting respiratory and diabetes, and bone syndromes (Fatima et al., 2019). It can severely damage vital organs like the liver, kidneys, and lung, increasing the cancer threat (Shahid et al., 2014; Baldantoni et al., 2016). Similarly, Cadmium negatively impacts soil microorganisms, disrupting their activity and structure (Yu et al., 2021). In plants, cadmium stress disrupts numerous cellular processes, leading to reduced cell division, micronucleus formation, chromosomal abnormalities, (Singh et al., 2020; Vaculik et al., 2012), as well as DNA damage (Seth et al., 2008). Cadmium exposure can stunt plant growth, decrease photosynthetic pigment levels, impair antioxidant enzyme activity, and increase harmful substances (Muradoğlu et al., 2015). Furthermore, cadmium has been shown to inhibit seed germination, reduce plant height, restrict root growth, and decrease leaf number, ultimately contributing to plant death (Bae et al., 2016; Mani et al., 2012). This review will help evaluate how cadmium impacts plant physiology, including its absorption, movement, and buildup in various tissues plants. It also examines the effects of cadmium on plant growth parameters and investigates any changes in photosynthesis, respiration, and enzyme activity in response to cadmium exposure. We aim to explore the transcriptional regulatory mechanisms governed by transcription factors, focusing on the latest advancements in this field. Our objective is to establish a comprehensive and

robust scientific foundation for developing more effective strategies to mitigate and manage cadmium (Cd) pollution, as well as to cultivate Cd-resistant plants.

ABSORPTION OF CADMIUM BY ROOTS

The primary function of roots is to absorb nutrients and water for the rest of the plant. Elongation and cell division in plants occur in the root tip that plays a crucial part in this process as it absorbs cadmium from the soil. Root hairs, which grow as tubular extensions from the surface of roots, are formed from specific epidermal cells, these root hairs boost the plant's capability to penetrate the soil and maximize the volume available for nutrient absorption, particularly in conditions where ion diffusion is sluggish (Brown et al., 2017). Subsequently, root hairs are the dynamic regions for Cd^{2+} uptake, and studies show that the density of root hairs in *Arabidopsis thaliana* increases in reaction to cadmium exposure (Kohanová et al., 2018). Cadmium may enter roots by numerous ways. Primarily, channels of ion act as primary routes for essential elements (Fe^{2+} , Zn^{2+} , and Ca^{2+}), to move from the rhizosphere into root cells. However, these ion channels can also allow Cd^{2+} to enter plant cells. Elevated external Cd^{2+} concentrations create a notable electrochemical gradient, which enables the binding of Cd^{2+} to proteins known as transporter proteins because it moves through the ion channels (specifically the Ca^{2+} channels) and subsequently arrives the root epidermal layer through the symplast way (Sterckeman & Thomine, 2020). Reported by Muradoğlu et al. (2016b), heavy metals Cd and Pb significantly decreased root number and root weight in strawberries. Increasing concentrations of Cd and Pb showed a greater decline in growth, and Cd toxicity was found to be higher than Pb toxicity in strawberry plants.

CADMIUM TRANSLOCATION FROM ROOT TO SHOOT

After cadmium is being immersed by plant roots, it enters the xylem and is consequently transported to the shoots via specific transporters. The efficiency of Cd translocation to the shoots is primarily influenced by root factors (Lux et al., 2011). When root hairs are exposed to cadmium, mechanical variations occur in the rhizodermis of roots that may impact the movement of Cd to the growing areas (Kohanová et al., 2018). Although roots of plant can accumulate higher concentrations of cadmium, inadequate amount is

transferred to the shoots because of the apoplastic barrier (Anwen et al., 2021). Previous studies demonstrate that plant roots typically accumulate substantial amounts of heavy metals and effectively restrict their movement to aerial parts. However, some species possess the capacity to translocate large quantities of heavy metals to their shoots and leaves (Gupta et al., 2013; Muradoğlu et al., 2016a). In fact, research indicates that absorption of cadmium in the roots is adversely associated with its absorption in the shoots. The variability in cadmium transportation from roots of rice plant to shoots can also be endorsed to these apoplastic hurdles (Qi et al., 2020). Once Cd is immersed by the plant roots and transported to shoots, it subsequently transported to the other plant parts, through nodes (Yamaji & Ma, 2014).

INFLUENCE OF CADMIUM ON POLLENS

In plants, germination Pollen is a complicated process affected by numerous factors, containing temperature, pollinators, heavy metals, the number of anthers, nutrient availability, pollen quantity and differences between plant species (Muradoğlu et al., 2017). Heavy metals, in particular, may negatively impact reproduction of plant by hindering the growth of both pollen and ovules, resulting in infertile flowers as well as shriveled pollens (Wang et al., 2014; Muradoğlu et al., 2017; 2019). Cadmium (Cd) is a heavy metal known to influence the development of pollen (Muradoğlu et al., 2017; Hattab et al., 2010). Interestingly, research exhibited that low cadmium concentrations can have a stimulatory effect. For example, in tobacco (*Nicotiana tabacum*) small amounts of Cd (10^{-12} M CdCl_2) in the growth medium slightly promoted pollen tube development, and extension (Sawidis, 2008). Similarly, in species like pea (*Pisum sativum*), length of pollen tube enhanced by 10.3%, 42.7%, and 84.2%, respectively, with increasing cadmium concentrations of 0.01, 0.1, and 1 $\mu\text{g/ml}$ (Xiong & Peng, 2001). While low cadmium applications can sometimes stimulate pollen growth, higher concentrations induce several morphological abnormalities, including irregular growth patterns, branching at pollen tube, and swelling, which lead to cell wall disruptions and the formation of a sparse network of fibrous material in the external layers (Sawidis, 2008). Pollen tube length and germination are essential for reproduction of plants and highly vulnerable to environmental contaminants, impacting fruit production (Muradoğlu et al., 2024). Studies have shown that cadmium negatively affects

both germination of pollen and structure of pollen tube in numerous species of plants (Sabrine et al., 2010., Muradoğlu et al., 2019). Even at low cadmium levels (e.g., 0.01 µg/mL) can inhibit pollen germination in *Vicia angustifolia* and *Vicia tetrasperma*, highlighting their sensitivity to cadmium (Xiong & Peng, 2001). In vitro studies on different *Prunus avium* (sweet cherry) cultivars exposed to cadmium showed cell wall thickening, cell diameter enhanced, and abnormal growth of pollen tube (Sharafi et al., 2017). Similarly, *Picea wilsonii* (Wilson's spruce) pollen tubes exhibited tip swelling and cytoplasmic vacuolization (Wang et al., 2015).

CADMIUM IMPACT ON CHLOROPHYLL CONTENT

Muradoğlu et al. (2015) found that cadmium absorptions were much higher in plant roots compared to leaves of treated plant. They observed significant decline in chlorophyll levels in plant leaves as concentration of cadmium increased, along with a notable increase in malondialdehyde (MDA), indicating oxidative pressure. Specifically, the study reported decrease of approximately (5%, 15, 25, and 30%) respectively in chlorophyll a, and (3%, 11%, 15%, and 18%) in chlorophyll b as cadmium levels enhanced from 0 to 60 mg/kg. Geng et al. (2025) noted that Cd accumulates in roots and leaves, replacing Mg and Fe in chloroplasts, which hampers chlorophyll synthesis and directly reduces photosynthesis efficiency. Further supporting these findings, Qian et al. (2009) and Shaari et al., (2025) indicated that cadmium negatively affects the plants carotenoid content and chlorophyll. This decline is attributed to the suppressive effects of cadmium on the activity of enzymes that are engaged in biosynthesis of pigment. The results of Muradoğlu et al., 2015 align with earlier research, such as that by Fang et al., (1998) and Shehzadi et al., (2025), which also reported that cadmium inhibits chlorophyll production and contributes to a senescence-like state in plants. A recent study by Ashraf et al., (2025) concluded that in rice oxidative stress increased due to cadmium toxicity and chlorophyll also decreased

EFFECT ON GERMINATION AND PLANT GROWTH

Plant germination hampers due to stress caused by cadmium, as well as shortens roots and shoots, lowers biomass, chlorophyll, and protein levels, and boosts oxidative stress markers such as MDA. (Waheed et al., 2025; Cheng et

al., 2025). Cadmium (Cd) is recognized for its ability to hinder seed germination through multiple mechanisms. In seeds of cowpea, this inhibition may be due to impaired water uptake, thus restricting the water accessible for the growth of the embryo (Vijayaragavan et al., 2011). Cadmium accumulation inhibits growth in plant tissues and causes various toxic effects. Cd stress reduces dry matter in several plant organs (Lv et al., 2025). Reduced growth and development are amongst the first signs of cadmium accumulation (Menon et al., 2016; Perveen et al., 2015), affecting growth, root and shoot elongation. Cd exposure leads to shorter plant shoot lengths, reduced dry and fresh weight, fewer leaves, and smaller leaf area as of control plants (Maksimović et al., 2007; Perveen et al., 2015; Zulfıqar et al., 2022). Beyond overall growth decline, cadmium exposure alters anatomy of roots, from parenchyma cell development (Maksimović et al., 2007) to the destruction of pericycle cells (Wójcik & Tukiendorf, 2005). Studies have shown that increasing Cd concentrations negatively impact barley growth, leaf area and biomass (Wu et al., 2002). Likewise, higher Cd concentrations reduce stem and root growth in *Alternanthera bettzickiana* (Tauqeer et al., 2016) *Pisum sativum* (Sharma et al., 2025). Treatments of cadmium ranges between 0.1mM and 10 mM have been shown to inhibit early seedling growth in fenugreek seeds, negatively affecting roots (Zayneb et al., 2015). High Cd accumulation can cause browning and chlorosis (yellowing) of Root apices, eventually causing plant mortality (Zayneb et al., 2015). Cadmium (Cd) inhibits germination in cereal seedlings grown on filter paper, alongside wheat displaying a 31% decrease at applications between 0.03 and 4.8 mM (Guilherme et al., 2015). This inhibitory effect is seen across various plant families. Within the Fabaceae family, *Pisum sativum* and beans (Majeed et al., 2019; El Rasafi et al., 2016), and fenugreek (*Trigonella foenum*) (Zayneb et al., 2015) are all susceptible. In the Asteraceae family, sunflower (*Helianthus annuus*) also exhibits similar sensitivity (Jadia & Fulekar, 2008), as does *Brassica napus* in the Brassicaceae family (Moosavi et al., 2012). Alternative experiment exhibited that all levels of cadmium exposure significantly impaired the growth of *Eruca sativa* (rocket salad), reducing both shoot and root lengths (Waheed et al., 2022). Recent study found that exposure of Cd substantially limited plant height and leaf count, hinders growth while elevating stress-related biochemical responses. (Ahsan et al., 2025). Cadmium stress also negatively affects white clover by disrupting nodulation, leading to

deterioration of nodule and decreased synthesis of protein (Manier et al., 2009). In fruit crops, Cd exposure is also detrimental. For example, cadmium decreased total soluble solids, vitamin C and sugars in strawberries (Zhang et al., 2020). Conversely, plants of tomato that developed in media affected by cadmium showed increased firmness and total soluble solid content, but reduced pH and water content (Kumar et al., 2015). Cadmium also persuades oxidative pressure, which results in increased reactive oxygen species levels (Jalmi et al., 2018; Rodriguez-Serrano et al., 2009; Cuypers et al., 2016). This oxidative stress can oxidize thioredoxin isoforms in pea seeds, suggesting their role in regulating the redox condition of storing proteins in dicots and cereals (Smiri et al., 2013; Alkhalfioui et al., 2007). Furthermore, exposure of cadmium has been linked to a twofold decrease in levels of glutathione and reduced activity of glutathione reductase (Smiri et al., 2011). In tobacco seedlings, the main root shortens and foliage turns greenish-yellow due to Cd toxicity (Lv et al., 2025)

ENZYME ACTIVITY

Cadmium stress significantly alters enzyme activity, primarily due to redox imbalance (Gupta et al., 2019; Rellán-Álvarez et al., 2006; Hasanuzzaman et al., 2018). Cadmium promotes the excessive reactive oxygen species production (Rizwan et al., 2018; Geng et al., 2025). The accumulation of these oxidants promotes the activity of key enzymes, for instance peroxidase, superoxide dismutase (SOD), catalase, and ascorbate peroxidase (Pandey & Dubey, 2019; Gill et al., 2011). Excessive levels of cadmium persuade antioxidant enzymes in mustard (Gill et al., 2011; Mobin & Khan, 2007). Cadmium significantly impairs various essential plant enzymes because it strongly connected to sulfhydryl groups (-SH) also competes with enzyme-activating cations like zinc, magnesium, and calcium (Cuypers et al., 2011; Gupta et al., 2019). In roots, Cd interferes with plasmalemma-associated H⁺-ATPase, which is vital for maintaining the electrochemical gradient and driving nutrient uptake and transport (Falhof et al., 2016), thereby limiting root function (Astolf et al., 2005). Plant reactions to stress caused by cadmium lean on concentration of cadmium. For example, *Alternanthera bettzickiana* (amaranth) exposed to 0.5 and 1 mmol of cadmium showed enhanced growth, higher photosynthetic pigment levels, and improved SOD, CAT, and POD activity.

However, higher concentrations (e.g., 2 mmol) decreased these parameters (Tauqeer et al., 2016). Studies suggest that Cd can alter plant pigmentation in these ways: by altering the concentration of essential pigment nutrients, replacing nutrients within the pigments themselves, and affecting the enzymes involved in pigment synthesis (Grayer and Nigel, 2008).

EFFECT OF CADMIUM ON NUTRIENT UPTAKE

Nutrients are crucial for the growth and development of plants, but Cd can significantly disrupt their uptake and transport within plants (Mourato et al., 2019; Ismael et al., 2019; Parrotta et al., 2015). Cadmium stress impacts plant physiology and biochemistry, affecting element uptake, stomatal closure, nutrient absorption, transpiration, photosynthesis, and antioxidant enzyme activities. This leads to notable decreases in plant growth and productivity (Wang et al. 2024). The impact of cadmium on nutrient levels varies reliant on factors like species of plant, specific plant organ and genotype (Ismael et al., 2019). Research has validated that stress caused by cadmium can negatively affect the levels of numerous essential nutrients. For example, potassium and phosphorus concentrations are often reduced in shoots and leaves, while iron, zinc, and molybdenum levels may decline in leaves. Zinc and boron (B) concentrations in shoots can also be affected, and manganese (Mn) levels may decrease in both leaves and roots. Conversely, the absorption of Fe in roots and Mo in shoots can sometimes increase (Guo et al., 2007). In almond (*Prunus dulcis*) seedlings, exposure to elevated Cd levels (100 and 150 μM) has been proven to diminish magnesium, k, and calcium (Ca) concentrations in leaves and roots (Nada et al., 2007). Latest research on tomato fruits have disclosed that Cd-induced changes in nutrient status are impacted by multiple factors, such as the specific element, genotype of specific plant, ripening stage, and specific part of the fruit. Cadmium levels in the growing media also play a crucial role (Hédiji et al., 2015; Hussain et al., 2017). Notably, pulp of fruit tends to be more negatively exaggerated by exposure of Cd than the peel, with significant effects observed on fructose, glucose, fiber, ash content and protein (Hussain et al., 2017). Overall, cadmium stress impacts the absorption of numerous essential elements often exhibiting an antagonistic relationship by competing for membrane transport. Furthermore, Cd influences the movement

of elements absorbed by the plant (Lasat et al., 2000; Muradoğlu et al., 2015; Sterckeman & Thomine, 2020).

CADMIUM IMPACT AT MOLECULAR LEVEL

Cadmium (Cd) toxicity has multifaceted impacts on plants, affecting them morphologically, physiologically, biochemically, and at the molecular level (Hussain et al., 2012). Cadmium toxicity damage DNA and organ systems (Yang et al., 2025). Cd exposure triggers the signaling molecules synthesis, proteins related to stress, also can lead to chromosomal changes, and disrupts process of cell division and cycle progression (Dalcorso et al., 2010). For instance, Shanmugaraj et al. (2013) observed increased mRNA expression of the PCS (phytochelatin synthase) gene in crops resulted as elevated Cd concentration (50, 100, 150, and 200 μM). Similarly, Roy et al. (2016) reported that different levels of cadmium stress (100 μM and 150 μM CdCl_2) decreased the protein expression while increasing the expression of several other proteins in sorghum. Furthermore, numerous genes have been identified as being overexpressed under Cd stress, regulating diverse processes such as cadmium uptake, detoxification, and accretion (Fan et al., 2018; Song et al., 2019). These molecular responses are critical for improving capability of plants against toxicity caused by cadmium.

EFFECT ON FLOWERS

Exposure to cadmium has been linked to notable alterations in floral productivity and morphology in various plant species. For example, cadmium exposure has been associated with significant variations in flower quantity, and changes in morphology have been documented (Hédiji et al., 2015). These changes may be linked to Cd-induced disruptions in ontogeny, similar to those observed in leaves (Pérez et al., 2018). The latter study indicates that Cd affects factors like elongation, cell diameter, and meristem thickness, potentially leading to these morphological changes. In rice (*Oryza sativa*), Contact of cadmium may diminishes total number and effective tiller numbers (Barman et al., 2020). Similarly, flowers numbers in tomato (*Solanum lycopersicum*) decreased due to Cd stress (Hédiji et al., 2015). Conversely, research on sunflower (*Helianthus annuus*) revealed that increased flower quantity corresponded with higher accumulation of cadmium (Hao et al., 2012).

IMPACT OF CADMIUM ON PLANT HORMONES

Plant hormones trigger an essential contribution in development and growth of plant (Yang et al., 2017). Plant Hormones serve as indicators of toxicity caused by metals, including cadmium (Cd) exposure. Several phytohormone groups positively respond to cadmium toxicity, including ethylene, cytokinins, auxins, abscisic acid, gibberellins (GA3), strigolactones (Yang et al., 2017), jasmonates (Ahmad et al., 2017), melatonin (Shehzadi et al., 2025), methyl jasmonate in strawberry (Muradoğlu et al., 2020), and also Chitosan and Trichoderma on *Pisum sativum* Germinating Seeds (Sharma et al., 2025) were reported by researchers. These hormones are effective at low concentrations and influence various plant characteristics, such as color, taste, and smell, while also regulating numerous cellular processes (Ahmad et al., 2017). IAA, SA, and ABA, in particular, are essential for the reaction of plants to heavy metal stress (Hong-Bo et al., 2010). Overall, phytohormones enhance plant tolerance to cadmium by acting as molecules responsible for signaling, promoting growth of plant by influencing the activity of various genes, enzymes, metabolites, and pigments (Shahid et al., 2019).

CONCLUSION

Cadmium (Cd) is an extremely harmful element with no physiological role in mammals, posing a significant health risk in both occupational and environmental settings. Human exposure primarily occurs through polluted food and water, and cigarette smoke. A key concern with Cd is its efficient retention within the human body, leading to accumulation over time due to its extensive natural half-life of approximately 25 years. Epidemiological and experimental studies strongly indicate a link between chronic Cd exposure and carcinogenesis, particularly in the lungs, but also in other organs and tissues, including the kidneys, breast, prostate, pancreas, and urinary bladder. Once absorbed, Cd, especially in the kidneys and liver, persuades the production of metallothioneins, which act as cysteine-rich proteins bind to metals. In plants, Cd negatively impacts reproductive success by disrupting multiple mechanisms, such as establishment of pollen tube, ultimately reducing seed number and germination rates, as previously discussed. While the cadmium impact on vegetative plant growth has been comprehensively studied, its impact on the reproductive phase remains less understood and requires further

research. Numerous studies have shown that Cd is translocate from the soil to shoots via plant roots, resulting in accretion in tissues. The unnecessary buildup of cadmium interrupts various physiological procedures in plants, adversely impacting photosynthesis, and germination of seed, transpiration of leaves, and nutrient uptake. Consequently, there is a need for more thorough studies to gain a complete understanding of the molecular reactions of plants to cadmium-induced oxidative pressure and the mechanisms that regulate its transport to both vegetative and reproductive organs.

REFERENCES

- Afzal, H., Ali, S., Rizwan, M., Rehman, M. Z. U., Qayyum, M. F., Wang, H., & Rinklebe, J. (2019). Responses of wheat (*Triticum aestivum*) plants grown in Cd contaminated soil to the application of iron oxide nanoparticles. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 173, 156–164. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.01.118>
- Ahmad, P., Alyemeni, M. N., Wijaya, L., Alam, P., Ahanger, M. A., & Alamri, S. A. (2017). Jasmonic acid alleviates negative impacts of cadmium stress by modifying osmolytes and antioxidants in faba bean (*Vicia faba* L.). *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63(13), 1889–1899. <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1313406>
- Ahsan, M., Abdullah, M., Radicetti, E., Elsadek, M. F., Bakhsh, A., Sajid, M., & Abbas, S. M. (2025). Cadmium Toxicity Affects Morpho-Physiological and Biochemical Attributes in *Gladiolus grandiflorus* L.: The Mitigating Roles of Exogenous Strigolactone (GR24). *Water, Air, & Soil Pollution*, 236(7), 450.
- Alaee, S., Talaiekhosani, A., Rezaei, S., Alaee, K., & Yousefian, E. (2014). Cadmium and male infertility. *Journal of Infertility Reproduction Biology*, 2, 62–69.
- Ali, H., & Khan, E. (2017). Environmental chemistry in the twenty-first century. *Environmental Chemistry Letters*, 15, 329–346. <https://doi.org/10.1007/s10311-016-0601-3>
- Ali, H., & Khan, E. (2019). Trophic transfer, bioaccumulation, and bio magnification of nonessential hazardous heavy metals and metalloids in food chains/webs: Concepts and implications for wildlife and human health. *Human Ecology Risk Assessment*, 25(6), 1353–1376. <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1472938>
- Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. (2019). Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: Environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of Chemistry*, Article 6730305. <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>
- Alkhalifioui, F., Renard, M., Vensel, W. H., Wong, J., Tanaka, C. K., Hurkman, W. J., Buchanan, B. B., & Montrichard, F. (2007). Thioredoxin-linked

- proteins are reduced during germination of *Medicago truncatula* seeds. *Plant Physiology*, 144, 1559–1579.
- Andresen, E., Peiter, E., & Küpper, H. (2018). Trace metal metabolism in plants. *Journal of Experimental Botany*, 69, 909–954. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx465>
- Ashraf, H., Ghouri, F., Ali, S., Bukhari, S. A. H., Haider, F. U., Zhong, M., & Shahid, M. Q. (2025). The protective roles of *Oryza glumaepatula* and phytohormone in enhancing rice tolerance to cadmium stress by regulating gene expression, morphological, physiological, and antioxidant defense system. *Environmental Pollution*, 364, 125311.
- Astolf, S., Zuchi, S., & Passera, C. (2005). Effect of cadmium on H⁺-ATPase activity of plasma membrane vesicles isolated from roots of different S-supplied maize (*Zea mays* L.) plants. *Plant Science*, 169, 361–368. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2005.03.025>
- Bae, J., Benoit, D. L., & Watson, A. K. (2016). Effect of heavy metals on seed germination and seedling growth of common ragweed and roadside ground cover legumes. *Environmental Pollution*, 213, 112–118. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.11.041>
- Baldantoni, D., Morra, L., Zaccardelli, M., & Alfani, A. (2016). Cadmium accumulation in leaves of leafy vegetables. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 123, 89–94.
- Barman, F., Majumdar, S., Arzoo, S. H., & Kundu, R. (2020). Genotypic variation among 20 rice cultivars/landraces in response to cadmium grown locally in West Bengal, India. *Plant Physiology and Biochemistry*, 148, 193–206. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.11.018>
- Borges, K. L. R., Hippler, F. W. R., Carvalho, M. E. A., Nalin, R. S., Matias, F. I., & Azevedo, R. A. (2019). Nutritional status and root morphology of tomato under Cd-induced stress: Comparing contrasting genotypes for metal-tolerance. *Scientia Horticulturae*, 246, 518–527. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.014>
- Brown, L. K., George, T. S., Neugebauer, K., White, P. J., (2017). The rhizosheath—a potential trait for future agricultural sustainability occurs in orders throughout the angiosperms. *Plant Soil* 418 (1), 115–128.

- Carvalho, F. P. (2017). Mining industry and sustainable development: Time for change. *Food and Energy Security*, 6, 61–77. <https://doi.org/10.1002/fes3.120>
- Cheng, Z., Wei, J., Zhu, B., Gu, L., Zeng, T., Wang, H., & Du, X. (2025). Mutation of TaNRAMP5 impacts cadmium transport in wheat. *Plant Physiology and Biochemistry*, 223, 109879.
- Cuypers, A., Hendrix, S., dos Reis, R. A., De Smet, S., Deckers, J., Gielen, H., Jozefczak, M., Loix, C., Vercampt, H., & Vangronsveld, J., (2016). Hydrogen peroxide: Signaling in disguise during metal phytotoxicity. *Frontiers in Plant Science*, 7, 25. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00025>
- Cuypers, A., Karen, S., Jos, R., Kelly, O., Els, K., Tony, R., Nele, H., Nathalie, V., Yves, G., Jan, C., & Jaco, V. (2011). The cellular redox state as a modulator in cadmium and copper responses in *Arabidopsis thaliana* seedlings. *Journal of Plant Physiology*, 168, 309–316. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2010.07.010>
- Dalcorso, G., Farinati, S., & Furini, A. (2010). Regulatory networks of cadmium stress in plants. *Plant Signaling & Behavior*, 5(6), 663–667.
- Daulta, R., Prakash, M., & Goyal, S. (2022). Metal content in soils of Northern India and crop response: A review. *International Journal of Environmental Science and Technology*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-03763>
- El Rasafi, T., Nouri, M., Bouda, S., & Haddioui, A. (2016). The effect of Cd, Zn, and Fe on seed germination and early seedling growth of wheat and bean. *Ekologia*, 35(3), 213–223. <https://doi.org/10.1515/eko-2016-0017>
- Falhof, J., Pedersen, J. T., Fuglsang, A. T., & Palmgren, M. (2016). Plasma membrane H⁺-ATPase regulation in the center of plant physiology. *Molecular Plant*, 9, 323–337. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2015.11.00>
- Fan, W., Liu, C., Cao, B., Qin, M., Long, D., Xiang, Z., & Zhao, A. (2018). Genome-wide identification and characterization of four gene families putatively involved in cadmium uptake, translocation, and sequestration in mulberry. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1–16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00879>
- Fang, Z., Bouwkamp, J. C., & Solomos, T. (1998). Chlorophyllase activities and chlorophyll degradation during leaf senescence in non-yellowing

- mutant and wild type of *Phaseolus vulgaris* L. *Journal of Experimental Botany*, 49, 503–510.
- Farooq, M., Ali, S., Hameed, A., Bharwana, S., Rizwan, M., Ishaque, W., Farid, M., Mahmood, K., Iqbal, Z. (2016). Cadmium stress in cotton seedlings: Physiological, photosynthesis, and oxidative damages alleviated by glycinebetaine. *South African Journal of Botany*, 104, 61–68. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.10.008>
- Fatima, G., Raza, A. M., Hadi, N., Nigam, N., & Mahdi, A. A. (2019). Cadmium in human diseases: It's more than just a mere metal. *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 34, 371–378. <https://doi.org/10.1007/s12291-019-00879-6>
- Genchi, G., Carocci, A., Lauria, G., Sinicropi, M. S., & Catalano, A. (2020). Nickel: Human health and environmental toxicology. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, 679. <https://doi.org/10.3390/ijerph17020679>
- Geng, H. Y., Zha, Y. Q., Guan, P., Huang, L., Li, Z., & Yang, G. L. (2025). Physiological and biochemical responses, elemental uptake and cadmium accumulation in *Celosia cristata* L. under cadmium stress. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 107(6), 778–801. <https://doi.org/10.1080/02772248.2025.2503760>
- Gill, S. S., & Tuteja, N. (2011). Cadmium stress tolerance in crop plants: Probing the role of sulfur. *Plant Signaling & Behavior*, 6(2), 215–222. <https://doi.org/10.4161/psb.6.2.14880>
- Gill, S. S., Khan, N., & Tuteja, N. (2012). Cadmium at high dose perturbs growth, photosynthesis, and nitrogen metabolism while at low dose it up-regulates sulfur assimilation and antioxidant machinery in garden cress (*Lepidium sativum* L.) *Plant Science*, 182, 112–120. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.05.001>
- Grayer, R. J., & Nigel, C. V. (2008). Flavonoids and their glycosides, including anthocyanins. *Natural Product Reports*, 25, 555–611. <https://doi.org/10.1039/b707772h>
- Guilherme, M. D. F. S., Oliveira, H. M., & Silva, E. D. (2015). Cadmium toxicity on seed germination and seedling growth of wheat *Triticum aestivum*. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 37(4), 499. <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v37i4.28148>

- Guo, T.-R., Zhang, G.-P., Zhou, M.-X., Wu, F.-B., & Chen, J.-X. (2007). Influence of aluminum and cadmium stresses mineral nutrition and root exudates in two barley cultivars. *Pedosphere*, 17(4), 505–512. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(07\)60060-5](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(07)60060-5)
- Gupta, D. K., Huang, H. G., & Corpas, F. J. (2013). Lead tolerance in plants: strategies for phytoremediation. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(4), 2150–2161.
- Gupta, N., Yadav, K. K., Kumar, V., Kumar, S., Chadd, R. P., & Kumar, A. (2019). Trace elements in soil-vegetables interface: Translocation, bioaccumulation, toxicity, and amelioration—A review. *The Science of the Total Environment*, 651(Pt 2), 2927–2942.
- Hao, X. Z., Zhou, D. M., Li, D. D., & Jiang, P. (2012). Growth, cadmium and zinc accumulation of ornamental sunflower (*Helianthus annuus* L.) in contaminated soil with different amendments. *Pedosphere*, 22, 631–639. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(12\)60045-1](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(12)60045-1)
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., & Fujita, M. (Eds.). (2018). *Plants under metal and metalloid stress: responses, tolerance and remediation*. Springer.
- Hattab, S., Hedheli, A., Banni, M., Boussetta, H., & Herrero, M. (2010). Effects of cadmium and copper on pollen germination and fruit set in pea (*Pisum sativum* L.). *Scientia Horticulturae*, 125, 551–555. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.04.021>
- Hédiji, H., Djebali, W., Belkadhi, A., Cabasson, C., Moing, A., Rolin, D., & Chaibi, W. (2015). Impact of long-term cadmium exposure on mineral content of *Solanum lycopersicum* plants: Consequences on fruit production. *South African Journal of Botany*, 97, 176–181. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.01.007>
- Hong-Bo, S., Li-Ye, C., Cheng-Jiang, R., Hua, L., Dong-Gang, G., & Wei-Xiang, L. (2010). Understanding molecular mechanisms for improving phytoremediation of heavy metal-contaminated soils. *Critical reviews in biotechnology*, 30(1), 23–30. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.05.019>
<https://doi.org/10.1104/pp.107.094616>
- Huang, L., Li, Z., Liu, Q., Pu, G., Zhang, Y., & Li, J. (2019). Research on the adaptive mechanism of photosynthetic apparatus under salt stress: New

- directions to increase crop yield in saline soils. *Annals of Applied Biology*, 175, 1–17. <https://doi.org/10.1111/aab.12499>
- Hussain, C. M., & Keçili, R. (Eds.). (2020). Chapter 1 - Environmental pollution and environmental analysis. In *Modern Environmental Analysis Techniques for Pollutants* (pp. 1–36). *Elsevier*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816934-6.00001-1>
- Hussain, I., Ashraf, M. A., Rasheed, R., Iqbal, M., Ibrahim, M., Zahid, T., & Saeed, F. (2017). Cadmium-induced perturbations in growth, oxidative defense system, catalase gene expression and fruit quality in tomato. *International Journal of Agriculture and Biology*, 19(1).
- Hussain, S., Khan, I., Shah, M. A., Shabbir, A., Shabbir, A., Akhtar, M. S., Mahmood, T., & Khalid, A. (2012). Cadmium stress in plants: A review. *World Journal of Agricultural Sciences*, 8(4), 436-447.
- Ismael, M. A., Elyamine, A. M., Moussa, M. G., Cai, M., Zhao, X., & Hu, C. (2019). Cadmium in plants: Uptake, toxicity, and its interactions with selenium fertilizers. *Metallomics*, 11(2), 255–277. <https://doi.org/10.1039/c8mt00247a>
- Jadia, C. D., & Fulekar, M. H. (2008). Phytoremediation: The application of vermicompost to remove zinc, cadmium, copper, nickel, and lead by sunflower plant. *Environmental Engineering and Management Journal*, 7(5), 547–558. <https://doi.org/10.30638/eemj.2008.078>
- Jalimi, S. K., Bhagat, P. K., Verma, D., Noryang, S., Tayyeba, S., Singh, K., Sharma, D., & Sinha, A. K. (2018). Traversing the links between heavy metal stress and plant signaling. *Frontiers in Plant Science*, 9, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00012>
- Kabata-Pendias, A. (2011). Cadmium. In A. Kabata-Pendias (Ed.), *Trace elements in soils and plants* (pp. 287–304). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Kohanová, J., Martinka, M., Vaculík, M., White, P. J., Hauser, M. T., & Lux, A. (2018). Root hair abundance impacts cadmium accumulation in *Arabidopsis thaliana* shoots. *Annals of Botany*, 122(5), 903-914.
- Kumar, A., Subrahmanyam, G., Mondal, R., Cabral-Pinto, M. M. S., Shabnam, A. A., Jigyasu, D. K., & Yu, Z. G. (2021). Bio-remediation approaches for alleviation of cadmium contamination in natural resources. *Chemosphere*, 268, 128855.

- Kumar, P., Edelstein, M., Cardarelli, M., Ferri, E., & Colla, G. (2015). Grafting affects growth, yield, nutrient uptake, and partitioning under cadmium stress in tomato. *HortScience*, 50(11), 1654-1661.
- Lasat, M. M., & Kochian, L. V. (2000). Physiology of Zn hyperaccumulation in *Thlaspi caerulescens*. In N. Terry & G. Bañuelos (Eds.), *Phytoremediation of Contaminated Soil and Water*. Lewis Publishers. (pp. 159–169).
- Lux, A., Martinka, M., Vaculík, M., & White, P. J. (2011). Root responses to cadmium in the rhizosphere: a review. *Journal of experimental botany*, 62(1), 21-37.
- Lv, Y., Zheng, Y., Wang, J., Chen, X., Ke, Y., Huang, F., & Yu, L. (2025). Foliar application of melatonin reduces cadmium uptake and Cd-induced oxidative stress in tobacco under Cd stress. *Plant Growth Regulation*, 105(1), 315-327
- Majeed, A., Muhammad, Z., & Siyar, S. (2019). Assessment of heavy metal induced stress responses in pea (*Pisum sativum* L.). *Acta Ecologica Sinica*, 39(4), 284-288.
- Maksimović, I., Kastori, R., Krstić, L., & Luković, J. (2007). Steady presence of cadmium and nickel affects root anatomy, accumulation, and distribution of essential ions in maize seedlings. *Biologia Plantarum*, 51(3), 589–592.
- Mani, D., Sharma, B., Kumar, C., & Balak, S. (2012). Cadmium and lead bioaccumulation during growth stages alters sugar and vitamin C content in dietary vegetables. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 82(4), 477-488.
- Manier, N., Deram, A., Broos, K., Denayer, F. O., & Haluwyn, C. V. (2009). White clover nodulation index in heavy metal contaminated soils—A potential bioindicator. *Journal of Environmental Quality*, 38, 685–692. <https://doi.org/10.2134/jeq2008.0013>
- Manzoor, M., Gul, I., Kallerhoff, J., & Arshad, M. (2019). Fungi-assisted phytoextraction of lead: Tolerance, plant growth-promoting activities, and phytoavailability. *Environmental Science and Pollution Research International*, 26(23), 23788–23797. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05656-3>

- Menon, P., Joshi, N., & Joshi, A. (2016). Effect of heavy metals on seed germination of *Trigonella foenum-graceum* L. *International Journal of Life-Sciences Scientific Research*, 2(4), 488–493. <https://doi.org/10.21276/ijlssr.2016.2.4.27>
- Mobin, M., & Khan, N. A. (2007). Photosynthetic activity, pigment composition and antioxidative response of two mustard (*Brassica juncea*) cultivars differing in photosynthetic capacity subjected to cadmium stress. *Journal of Plant Physiology*, 164(5), 601–610.
- Moosavi, S. A., Gharineh, M. H., Tavakkol Afshari, R., & Ebrahimi, A. (2012). Effects of some heavy metals on seed germination characteristics of canola (*Brassica napus*), wheat (*Triticum aestivum*), and safflower (*Carthamus tinctorius*) to evaluate phytoremediation potential of these crops. *Journal of Agricultural Science*, 4(9), 11–19.
- Mourato, M., Pinto, F., Moreira, I., Sales, J., Leitão, I., & Martins, L. L. (2019). The effect of Cd stress in mineral nutrient uptake in plants. *Cadmium toxicity and tolerance in plants* (pp. 327-348).
- Muradoğlu F, Gündoğdu M, Encu T, Geçer MK, Başak İ, (2016b). Kadmiyum ve Kurşun Toksisitesinin Çilek Bitkisinde (*Fragaria x ananassa*) Bazı Büyüme Parametreleri Üzerine Etkileri. *Bahçe*, 45:527-532.
- Muradoglu F., Baytin R., Akkus G., Basak I. (2020). The effect of methyl jasmonate applications on some growth parameters in strawberry (*Fragaria x ananassa* “Camarosa”) plant under cadmium stress. *J Inst Sci Technol*, 10(2): 714-722
- Muradoğlu, F., Beyhan, Ö., & Sonmez, F. (2017). Response to heavy metals on pollen viability, germination, and tube growth of some apple cultivars. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(7), 4456–4461.
- Muradoğlu, F., Beyhan, Ö., Demir, T., Manzoor, M. A., Sönmez, F., & Balık, H. İ. (2024). Alleviation of Cadmium Stress on Pollens of Quince Varieties Through Epibrassinolide. *Applied Fruit Science*, 66(4), 1241-1247.
- Muradoğlu, F., Encu, T., Gündoğdu, M., & Canal, S. B. (2016a). Influence of lead stress on growth, antioxidative enzyme activities and ion change in root and leaf of strawberry. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25, 623-632.

- Muradoğlu, F., Gundogdu, M., Ercisli, S., Encu, T., Balta, F., Jaafar, H. Z., & Zia-Ul-Haq, M. (2015). Cadmium toxicity affects chlorophyll a and b content, antioxidant enzyme activities and mineral nutrient accumulation in strawberry. *Biological Research*, 48, 1–7.
- Muradoğlu, F., Z. Sulum, İ. Başak ve G. Akkuş. (2019). Ağır metallerin Red Chief ve Granny Smith elma çeşitlerinde polen çimlenmesi ve polen tüpü büyümesi üzerine etkileri. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi* 5 (1): 54-62. Doi:10. 24180/ijaws. 532092.
- Nada, E., Ferjani, B. A., Ali, R., Bechir, B. R., Imed, M., & Makki, B. (2007). Cadmium-induced growth inhibition and alteration of biochemical parameters in almond seedlings grown in solution culture. *Acta Physiologiae Plantarum*, 29(1), 57–62.
- Pandey, P., & Dubey, R. S. (2019). Metal toxicity in rice and strategies for improving stress tolerance. *Advances in rice research for abiotic stress tolerance* (pp. 313-339).
- Parrotta, L., Guerriero, G., Sergeant, K., Cai, G., & Hausman, J.-F. (2015). Target or barrier? The cell wall of early- and later-diverging plants vs cadmium toxicity: Differences in the response mechanisms. *Frontiers in Plant Science*, 6,133 .
- Paunov, M., Koleva, L., Vassilev, A., Vangronsveld, J., & Goltsev, V. (2018). Effects of different metals on photosynthesis: Cadmium and zinc affect chlorophyll fluorescence in durum wheat. *International Journal of Molecular Sciences*, 19 (3), 787.
- Pérez, A. P., & Eugenio, N. R. (2018). Status of Local Soil Contamination in Europe: Revision of the Indicator'Progress in the Management Contaminated Sites in Europe'. Publications Office of the European Union.
- Perveen, A., Wahid, A., Mahmood, S., Hussain, I., & Rasheed, R. (2015). Possible mechanism of medium-supplemented thiourea in improving growth, gas exchange, and photosynthetic pigments in cadmium-stressed maize (*Zea mays*). *Brazilian Journal of Botany*, 38(1), 71–79. <https://doi.org/10.1007/s40415-014-0124-8>
- Pizzaia, D., Nogueira, M. L., Mondin, M., Carvalho, M. E. A., Piotto, F. A., Rosario, M. F., & Azevedo, R. A. (2019). Cadmium toxicity and its relationship with disturbances in the cytoskeleton, cell cycle and

- chromosome stability. *Ecotoxicology*, 28, 1046–1055.
<https://doi.org/10.1007/s10646-019-02142-6>
- Qi, X., Tam, N. F. Y., Li, W. C., & Ye, Z. (2020). The role of root apoplastic barriers in cadmium translocation and accumulation in cultivars of rice (*Oryza sativa* L.) with different Cd-accumulating characteristics. *Environmental Pollution*, 264, 114736.
- Qian, H., Li, J., Sun, L., Chen, W., Sheng, G. D., Liu, W., et al. (2009). Combined effect of copper and cadmium on *Chlorella vulgaris* growth and photosynthesis-related gene transcription. *Aquatic Toxicology*, 94, 56–61.
- Rahimzadeh, M. R., Kazemi, S., & Moghadamnia, A. A. (2017). Cadmium toxicity and treatment: An update. *Caspian journal of internal medicine*, 8(3), 135.
- Rellán-Álvarez, R., Ortega-Villasante, C., Álvarez-Fernández, A., Campo, F. F. D., & Hernández, L. E. (2006). Stress responses of *Zea mays* to cadmium and mercury. *Plant and Soil*, 279(1-2), 41–50.
- Rizwan, M., Ali, S., Abbas, T., Adrees, M., Zia-ur-Rehman, M., Ibrahim, M., Abbas, F., Qayyum, M. F., & Nawaz, R. (2018). Residual effects of biochar on growth, photosynthesis, and cadmium uptake in rice (*Oryza sativa* L.) under cadmium stress with different water conditions. *Journal of Environmental Management*, 206, 676–683.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.038>
- Rizwan, M., Ali, S., ur Rehman, M. Z., Rinklebe, J., Tsang, D. C., Bashir, A., & Ok, Y. S. (2018). Cadmium phytoremediation potential of Brassica crop species: a review. *Science of the Total Environment*. 631, 1175–1191.
- Rizwan, M., Meunier, J.-D., Miche, H., & Keller, C. (2012). Effect of silicon on reducing cadmium toxicity in durum wheat (*Triticum turgidum* L. cv. Claudio W.) grown in a soil with aged contamination. *Journal of Hazardous Materials*, 209, 326–334.
- Rodriguez-Serrano, M., Romero-Puertas, M. C., Pazmino, D. M., Testillano, P. S., Risueño, M. C., Del Río, L. A., & Sandalio, L. M. (2009). Cellular response of pea plants to cadmium toxicity: cross talk between reactive oxygen species, nitric oxide, and calcium. *Plant Physiology*, 150(1), 229–243.

- Rog Young, K., Yoon, J. K., Kim, T. S., Yang, J. E., Owens, G., & Kim, K. R. (2015). Bioavailability of heavy metals in soils: Definitions and practical implementation a critical review. *Environmental Geochemistry and Health*, 37(6), 1041–1061. <https://doi.org/10.1007/s10653-015-9695-y>
- Roy, S. K., Cho, S. W., Kwon, S. J., Kamal, A. H. M., Kim, S. W., Oh, M. W., & Woo, S. H. (2016). Morpho-physiological and proteome level responses to cadmium stress in sorghum. *PLoS One*, 11(2), e0150431.
- Sabrine, H., Afif, H., Mohamed, B., Hamadi, B., & Maria, H. (2010). Effects of cadmium and copper on pollen germination and fruit set in pea (*Pisum sativum* L.). *Scientia Horticulturae*, 125, 551–555. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.05.017>
- Sahito, Z. A., Zehra, A., Yu, S., Chen, S., Arif, M. A. R., Raza, S. T., Lahori, A. H., Mwaheb, M. A., He, Z., & Yang, X. (2024). Folic acid supplementation improves seed germination, seedling growth and cadmium uptake in a mining ecotype of *Solanum nigrum* L. *Environmental Technology & Innovation*, 34, 103600.
- Sawidis, T. (2008). Effect of cadmium on pollen germination and tube growth in *Lilium longiflorum* and *Nicotiana tabacum*. *Protoplasma*, 233, 95–106. <https://doi.org/10.1007/s00709-008-0038-8>
- Seth, C. S., Misra, V., Chauhan, L. K. S., & Singh, R. R. (2008). Genotoxicity of cadmium on root meristem cells of *Allium cepa*: Cytogenetic and Comet assay approach. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 71, 711–716.
- Shaari, N. E. M., Khandaker, M. M., Tajudin, M. T. F. M. Majrashi, A., Alenazi, M. M., Bakar, M. F. A., & Badaluddin, N. A. (2025). Effects of *Spirulina platensis* and *Sargassum polycystum* extracts on morpho-physiological and metabolic responses of Pak Choi under cadmium stress. *Journal of Applied Phycology*, 1-27.
- Shahid, M., Dumat, C., Pourrut, B., Sabir, M., & Pinelli, E. (2014). Assessing the effect of metal speciation on lead toxicity to *Vicia faba* pigment contents. *Journal of Geochemical Exploration*, 144, 290–297. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.01.003>
- Shahid, M., Javed, M. T., Mushtaq, A., Akram, M. S., Mahmood, F., Ahmed, T., & Azeem, M. (2019). Microbe-mediated mitigation of cadmium

- toxicity in plants. *Cadmium toxicity and tolerance in plants* (pp. 427-449).
- Shanmugaraj, B. M., Chandra, H. M., Srinivasan, B., & Ramalingam, S. (2013). Cadmium-induced physio-biochemical and molecular response in *Brassica juncea*. *International Journal of Phytoremediation*, 15(3), 206–218. <https://doi.org/10.1080/15226514.2012.687020>
- Sharafi, Y., Talebi, S. F., & Talei, D. (2017). Effects of heavy metals on male gametes of sweet cherry. *Caryologia*, 70(2), 166-173.
- Sharma, B., Dwivedi, P., & Ankita, A. (2025). Effect of Chitosan and Trichoderma on *Pisum sativum* Germinating Seeds under Induced cadmium toxicity. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-13.
- Shehzadi, K., Maqsood, M. F., Kanwal, R., Shahbaz, M., Naqve, M., Zulfiqar, U., & Soufan, W. (2025). Enhancing cadmium stress resilience in chickpea (*Cicer arietinum* L.) via exogenous melatonin application. *International Journal of Phytoremediation*, 27(6), 794-809.
- Singh, P., Siddiqui, H., Sami, F., Arif, Y., Bajguz, A., & Hayat, S. (2020). Cadmium: A threatening agent for plants. *Plant responses to soil pollution* (pp. 59-88).
- Smiri, M., Chaoui, A., Rouhier, N., Gelhaye, E., Jacquot, J. P., & El Ferjani, E. (2011). Cadmium affects the glutathione/glutaredoxin system in germinating pea seeds. *Biological Trace Element Research*, 142, 93–105. <https://doi.org/10.1007/s12011-010-8744-z>
- Smiri, M., Jelali, N., & El Ghouli, J. (2013). Cadmium affects the NADP-thioredoxin reductase/thioredoxin system in germinating pea seeds. *Journal of Plant Interactions*, 8, 125–133. <https://doi.org/10.1080/17429145.2013.827444>
- Soares, C., Carvalho, M. E. A., Azevedo, R. A., & Fidalgo, F. (2019). Plants facing oxidative challenges a little help from the antioxidant networks. *Environmental and Experimental Botany*, 161, 4–25.
- Song, J., Finnegan, P. M., Liu, W., Li, X., Yong, J. W. H., Xu, J., Zhang, Q., Wen, Y., Qin, K., Guo, J., Li, T., Zhao, C., & Zhang, Y. (2019). Mechanisms underlying enhanced Cd translocation and tolerance in roots of *Populus euramericana* in response to nitrogen fertilization. *Plant Science*, 287, 110206.

- Souza, L. A., Camargos, L. S., & Carvalho, M. E. A. (2018). Toxic metal phytoremediation using high biomass non-hyperaccumulator crops: new possibilities for bioenergy resources. *Phytoremediation: Methods, management, assessment*, 1-25.
- Sterckeman, T., & Thomine, S. (2020). Mechanisms of cadmium accumulation in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 39(4), 322-359.
- Tauqeer, H. M., Ali, S., Rizwan, M., Ali, Q., Saeed, R., Iftikhar, U., Ahmad, R., Farid, M., & Abbasi, G. H. (2016). Phytoremediation of heavy metals by *Alternanthera bettzickiana*: Growth and physiological response. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 126, 138–146.
- Ur Rahman, S., Xuebin, Q., Yatao, X., Ahmad, M.I., Shehzad, M., Zain, M., (2020). Silicon and its application methods improve physiological traits and antioxidants in *Triticum aestivum* (L.) under cadmium stress *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(3), 1110-1121.
- Vaculik, M., Konlechner, C., Langer, I., Adlassnig, W., Puschenreiter, M., Lux, A., & Hauser, M. T. (2012). Root anatomy and element distribution vary between two *Salix caprea* isolates with different Cd accumulation capacities. *Environmental Pollution*, 163, 117–126.
- Vijayaragavan, M., Prabhakar, C., Sureshkumar, J., Natarajan, A., Vijayarangan, P., & Sharavanan, S. (2011). Toxic effect of cadmium on seed germination, growth and biochemical contents of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) plants. *International multidisciplinary research journal*, 1(5).
- Waheed, A., Haxim, Y., Islam, W., Ahmad, M., Ali, S., Wen, X., & Zhang, D. (2022). Impact of cadmium stress on growth and physio-biochemical attributes of *Eruca sativa* Mill. *Plants*, 11(21), 2981.
- Waheed, A., Zhang, Q., Xu, H., Dou, H., Muhammad, M., Aili, A., & Alshaharni, M. O. (2025). Mitigation of cadmium stress by salicylic acid: Physiological and biochemical responses in NM-2006, NM-92, and Mash-88 mung bean varieties. *Journal of Hazardous Materials*, 485, 136878.
- Wang, X. X., Zhang, S. S., Gao, Y., Lu, W. G., & Sheng, X. Y. (2015). Different heavy metals have various effects on *Picea wilsonii* pollen germination and tube growth. *Plant Signaling & Behavior*, 10(4).

- Wang, X., Gao, Y., Feng, Y., Li, X., Wei, Q., & Sheng, X. (2014). Cadmium stress disrupts the endomembrane organelles and endocytosis during *Picea wilsonii* pollen germination and tube growth. *PLoS One*, 9(4), e94721.
- Wang, X., Li, J., Xu, L., Su, J., Wang, Z., & Li, X. (2024). Simultaneous removal of calcium, cadmium and tetracycline from reverse osmosis wastewater by sycamore deciduous biochar, shell powder and polyurethane sponge combined with biofilm reactor. *Bioresource Technology*, 394, 130215.
- Wójcik, M., & Tukiendorf, A. (2005). Cadmium uptake, localization, and detoxification in *Zea mays*. *Biologia Plantarum*, 49(2), 237–245.
- Wu, F. B., & Zhang, G. (2002). Genotypic differences in the effect of cadmium on growth and mineral concentrations in barley seedlings. *Plant and Soil*, 69(2), 219–227.
- Xiong, Z. T., & Peng, Y. H. (2001). Response of pollen germination and tube growth to cadmium with special reference to low concentration exposure. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 48, 51–55.
- Yamaji, N., & Ma, J. F. (2014). The node, a hub for mineral nutrient distribution in graminaceous plants. *Trends in Plant Science*, 19(9), 556–563.
- Yang, J., Cao, W., & Rui, Y. (2017). Interactions between nanoparticles and plants: Phytotoxicity and defense mechanisms. *Journal of Plant Interactions*, 12(1), 158–169.
<https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1310944>
- Yang, S., Zu, Y., Li, B., Bi, Y., Jia, L., He, Y., & Li, Y. (2019). Response and intra-specific differences in nitrogen metabolism of alfalfa (*Medicago sativa* L.) under cadmium stress. *Chemosphere*, 220, 69–76.
- Yang, Y., Hassan, M. F., Ali, W., Zou, H., Liu, Z., & Ma, Y. (2025). Effects of cadmium pollution on human health: A narrative review. *Atmosphere*, 16(2), 225.
- Yu, X., Zhao, J., Liu, X., Sun, L., Tian, J., & Wu, N. (2021). Cadmium pollution impact on the bacterial community structure of arable soil and the isolation of cadmium resistant bacteria. *Frontiers in Microbiology*, 12, Article 698834. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.698834>
- Zayneb, C., Bassem, K., Zeineb, K., Grubb, C. D., Nouredine, D., Hafedh, M., & Amine, E. (2015). Physiological responses of fenugreek seedlings and

- plants treated with cadmium. *Environmental Science and Pollution Research International*, 22(14), 10679–10689. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4270-8>
- Zhang, Z., Gao, S., & Shan, C. (2020). Effects of sodium selenite on the antioxidant capacity and the fruit yield and quality of strawberry under cadmium stress. *Scientia Horticulturae*, 260, 108876. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108876>
- Zhi-bin, L., He, J., Polle, A., & Rennenberg, H. (2016). Heavy metal accumulation and signal transduction in herbaceous and woody plants: Paving the way for enhancing phytoremediation efficiency. *Biotechnology Advances*, 34(6), 1131–1148. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2016.07.003>
- Zulfiqar, U., Jiang, W., Xiukang, W., Hussain, S., Ahmad, M., Maqsood, M. F., & Mustafa, A. (2022). Cadmium phytotoxicity, tolerance, and advanced remediation approaches in agricultural soils; a comprehensive review. *Frontiers in Plant Science*, 13, 773815.

BÖLÜM 7

SÜS LAHANASI ÜRETİMİ

Doç. Dr. Turgay KABAY¹

<https://www.doi.org/10.5281/zenodo.17908453>

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

*Sorumlu Yazar: turgaykabay@gmail.com

Giriş

Süs lahanası, özellikle farklı renklere ve güzel görünümüne sahip olması nedeniyle, site ve evlerin bahçelerinde, parklarda, yol kenarlarında, refüjler gibi birçok dış mekanda kullanılmaktadır. Süs lahanası yaprakları, yeşil, lila, mor, pembe, kırmızı, beyazdan krem ve sarıya kadar renk formuna sahip kıvrımlı yapraklarla güzel görüntü sunmaktadır. Bunun dışında az da olsa iç mekan olarak saksıda da yetiştirilmektedir.

En çok tercih edilen süs lahanaları (Anonim 7)

Chidori süs lahanası

Bu süs lahanası, çok kıvrımlı ve kıvrımlı yaprak şekline sahiptir. Yaprak renkleri ise mor, pembe ve krem’ den beyaza kadar renk formuna sahiptir.



Şekil 1 Chidori süs lahanası (Anonim 2025)

Color Up süs lahanası

Bu süs lahanası yaprakları, dik olarak büyüyen, alttan bir veya iki sıra yaprakları yeşil renkli ve göbekten alt yapraklara doğru mor, kırmızı, pembe ve beyaz renk formlarına sahip ve çok hafif dalgalı yapıya sahiptir.



Şekil 2 Color Up süs lahanası

Osaka süs lahanası

Bu süs lahanasının, ortası pembe, kırmızı ve beyaz renkli ve yaprak uçları kıvrımlı yapıya sahipken, alt yaprakları ise 2-3 sıra yeşil ve hafif kıvrımlı yaprak yapısına sahiptir.



Şekil 3 Osaka süs lahanası

Tavuskuşu süs lahanası

Bu bitki, gevşek büyümesi ve kırmızı, mor veya beyaz renkteki derin tırtıklı yapraklarıyla yenilebilir lahana kuzenlerine daha çok benziyor.



Şekil 4 Tavuskuşu süs lahanası

Güvercin serisi süs lahanası

Bu süs lahanasının alttan 3 veya 4 sıraya kadar yeşil yapraklı ve göbek kısmından yeşil yapraklara kadar basık bir yapı şeklinde, kıvrımlı ve dalgalı olan yapraklar, kırmızıdan beyaza veya beyazdan kreme kadar renk formlarına sahiptir.



Şekil 5 Güvercin serisi süs lahanası

Fide Üretimi

Süs lahanaları üretiminde sağlıklı fide kullanımı çok önemlidir. Sağlıklı fide üretiminde seçilen tohumların, sağlıklı olmasına ve tohum ekim harcının steril olmasına dikkat edilmelidir. Bunun dışında, fide üretim alanlarının, temiz olmasına, ısıtma, havalandırma, ışıklandırma ve gölgeleme ünitelerinin olmasına önem verilmelidir. Kullanılan damlama sulama borularının, yağmurlama sistemlerinin sağlıklı çalıştığına emin olunmalıdır. Besin çözeltileri tanklarının veya gübreleme tanklarının her üretim sezonunda temizlenmiş olması gereklidir.

Fide üretimi için gerekli koşullar sağlandığında, üretim yapılacak fidenin, topraklı veya topraksız fide üretim şekline karar verilmelidir.

Topraksız fide üretimi

Topraksız fide üretiminde kullanılacak harçlar tercih edilirken, harçta kullanılacak elemanların steril olmasına veya firmadan istenilecekse, steril edildiğini gösterir belgenin olması gerekir.

Topraksız fide üretiminde en çok tercih edilen, torf, cocopeat (kokopit), perlit üretim ortamlarıdır. Fide üretiminde en çok, torf ile perlit veya cocopeat ile perlit karışımı tercih edilmektedir. Hazırlanan topraksız fide harçları, tohum ekim viyollerine doldurulur. Harç doldurulan viyoller hafif sulandıktan sonra süs lahanası tohumu ekimi yapılır. Tohum ekimi, viyollerde açılan 1-1.5 cm yuvalara yapılır. Tohum ekimi bittikten sonra, hazırlanan besin çözeltisiyle, sisleme veya yağmurlama sulama şeklinde sulama yapılır (Kabay 2025).

Topraksız fide üretiminde kullanılacak besin çözeltisi, ya tarım firmalarının hazır olarak satılan şekilde tedarik edilir yada besin elementi kaynaklı kimyasallardan, tercih edilen besin reçetelerindeki oranlar kullanarak hazırlanır. Hazır besin çözeltisi, tarım firmalarının sunduğu A çözeltisi ve B çözeltisi şeklinde hazırlanmış hazır besin çözeltisi şeklinde kullanılır. Kendi hazırlayacağı besin çözeltisi için ise çoğunlukla, çizelge 1 ve çizelge 2 de verilen örnek besin çözeltisi reçeteleri tercih edilmektedir. Bunun dışında farklı besin çözeltileride kullanılmaktadır (Kabay 2025).

Çizelge 1. Hoagland besin çözeltisi (Johnson, 1980; Sevgican, 1999; Kabay 2025)

stok konsantrasyon	5 litre suya
Potasyumnitrat (KNO_3)	252.88 g
Potasyumdihidrojenfosfat (KN_2PO_4)	144.12 g
Magnezyumsülfat ($MgSO_4-7H_2O$)	252.88 g
Borikasit (H_3Bo_3)	1428.57 mg
Mangansülfat ($MnSO_4-H_2O$)	740.74 mg
Çinkosülfat ($ZnSO_4-7H_2O$)	105.82 mg
Bakırsülfat ($CuSO_4-5H_2O$)	26.45 mg
Molibasit (MoO_3-2H_2O)	13.22 mg

Çizelge 2. Topraksız tarımda tüm bitkiler için besin çözeltisi (Anonim, 6; Kabay 2025)

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

Süs lahanaları asıl yerlerine dikilmeden önce 3-4 yapraklı fide konumuna geldiğinde, bodurlaşmayı önlemek için, kök sisteminin rahat yetişeceği yani köklerin sıkışmayacağı 1-2 litrelik saksılara alınmalıdır. 2-3 hafta bu saksılarda 20-22 °C de bulundurulduktan sonra asıl yerlerine dikilir (Whipker ve ark. 1998; McAvoy 1994; Gibson ve ark. 2000; Carter 2003; Dhiman ve ark. 2019; Błażewicz-Woźniak ve ark. 2021).

Topraklı ortamda fide üretimi

Süs lahanası fidesinin, büyük pazarlara gönderilen ve tamamen ticareti yapılan fide üretiminde tercih edilen fide üretim harcı, torf, cocopeat ve perlit veya bunların belli oranlarda karışımıdır. Özellikle kendi üretim ihtiyacını karşılamak veya küçük pazarlara sunmak amacıyla topraklı fide harcı da kullanılır.

Topraklı fide harcı olarak, bahçe toprağı, yanmış çiftlik gübresi, kum veya pomza harç elemanlarının karışımı ile elde edilen fide harcı kullanılır. Bu harç elemanları her yerde kolay temin edildiğı ve az masraflı olduğı için küçük çaplı fide üretimlerinde tercih edilmektedir. Fide harcı karışım oranları toprak yapısına göre değişmektedir. Ağır veya çok hafif yapılı topraklarda, yanmış çiftlik gübresinin oranının artırılması gerekir. Bunun dışında hazırlanacak

harcın elenmesi, harç analizi sonucu gerekli gübrelemenin yapılması ve dezenfekte edilmesi, yabancı ot tohumlarının, hastalık ve zararlıların kontrolü için gereklidir (Kabay 2025).

Hazırlanan topraklı fide harcı viyollere doldurularak, tohum ekimi yapılır. Tohum ekimi, viyollerde 1 veya 1.5 cm açılan tohum ekim yuvalarına yapılır. Tohum ekiminden sonra sisleme veya yağmurlama sulama yapılır.

Süs lahanaları asıl yerlerine dikilmeden önce 3-4 yapraklı fide konumuna geldiğinde, bodurlaşmayı önlemek için, kök sisteminin rahat yetişeceği yani köklerin sıkışmayacağı 1-2 litrelik saksılara alınmalıdır. 2-3 hafta bu saksılarda 20-22 °C de bulundurulduktan sonra asıl yerlerine dikilir (Whipker ve ark. 1998; McAvoy 1994; Gibson ve ark. 2000; Carter 2003; Dhiman ve ark. 2019; Błażewicz-Woźniak ve ark. 2021).

Fidelerin Asıl Yerlerine Dikimi

Süs lahanası site ve iş yerindeki yeşil alanların, park ve bahçelerin süslenmesinde kullanımı daha çok yaygındır. Farklı renk ve yaprak şekillerine sahip olması, güzel görünümü arttırdığı gibi süslemelerde de çok tercih edilmektedir.

Süs lahanaları asıl yerlerine dikilmeden önce 3-4 yapraklı fide konumuna geldiğinde, bodurlaşmayı önlemek için, kök sisteminin rahat yetişeceği yani köklerin sıkışmayacağı 1-2 litrelik saksılara alınmalıdır. Saksılar, gece sıcaklığı 15 °C'nin altına düşmeyecek ve gündüz sıcaklığı 20-21 °C arasında ayarlanmış seralarda veya iklim odalarında bulundurulması, orta yapraklarda reklenmenin başlamasında önemlidir. Reklenme başladığından bir hafta sonra asıl yerlerine dikim yapılır. Süs lahanası fideleri 13-15 cm aralıklarla asıl yerlerine dikilmelidir(Whipker ve ark. 1998; McAvoy 1994; Gibson ve ark. 2000; Carter 2003; Dhiman ve ark. 2019; Błażewicz-Woźniak ve ark. 2021).

Süs lahanalarının dikim yapılacağı yerler, organik maddece yüksek hafif yapılı topraklarda olmalıdır. Dikim yapılacak ortamın pH değeri 5.8-6.5 arasında olmalıdır. Dikim yapmadan önce makro ve mikro besin maddeleriyle gübreleme yapmak gerekir (Whipker ve ark. 1998; McAvoy 1994; Gibson ve ark. 2000; Carter 2003; Dhiman ve ark. 2019; Błażewicz-Woźniak ve ark. 2021).

Sulama, ilk dikim aşamasında can suyu verilip 10 gün boyunca günlük damlama sulama şeklinde verilmelidir. Bitkiler asıl yerlerine tam alıştıktan

sonra (yaklaşık 10 gün) sulama haftada bir gün yapılmalıdır. Aşırı sulamada çürüme ve mantari hastalıklar ile zararlıların oluşmasına neden olur. Hava sıcaklığı düştüğünde ise (gündüz 16-18 °C) sulama daha da azaltılmalıdır. Süs lahanaları 5 °C sıcaklığa kadar soğuğa dayanıklıdır. Bazen kar altında da renkli yapraklarla güzel görüntü sunmaktadır (Whipker ve ark. 1998; McAvoy 1994; Gibson ve ark. 2000; Carter 2003; Dhiman ve ark. 2019; Błażewicz-Woźniak ve ark. 2021)..

Sıcaklığın ve gün uzunluğunun yüksek olduğu temmuz ve ağustos aylarında sapa kalkma ve çiçeklenme artacağı için renkli ve güzel görünümlü yaprakların bozulmasına neden olacaktır.

Aşırı gübreleme iyi renklenmeyi engellerken yetersiz gübreleme besin elementi eksikliğine neden olur. Bu besin elementi eksikliği yapraklarda, sararma, morarma, yapraklarda rozetleşme gibi belirtiler görülür. Ca azlığında dokularda kahverengileşme ile bor eksikliğinde kahverengi lekelenme başlarken, yüksek fosfor ve düşük potasyumda ise süs lahanalarında iç kararması ve saplarda siyahlaşma görülür (Becker, 1986; Latin ve Helms, 1990).

Sonuç

Dış mekanda kullanılan, renkli yapraklı ve çiçekli bitkiler ile yer örtücüler, dış mekanı süslemede sürekli tercih edilen bitkilerdir. Özellikle serin iklimde yetişen ve soğuğa tolerans gösteren süs lahanaları çok fazla tercih edilmektedir.

Renkli yaprakları ve soğuğa tolerans göstermeleri nedeniyle, birçok park ve bahçelerde, yol kenarlarında, site, ev ve işyerlerinin yeşil alanlarında da çok fazla tercih edilmektedir

Süs lahanasının üretimi hakkında bilgi sahibi olmak, hem üretim alanlarını artmasına fayda sağlayacaktır hem de üreticilerin pazar alanlarının artmasını sağlayacaktır.

Kaynaklar

- Anonim 1 <https://pixabay.com/tr/images/search/chidori>
- Anonim 2 <http://www.cicekal.net/blog/tag/sus-lahanasi>
- Anonim 3 <https://www.amazon.com.tr/Brassica>
- Anonim 4 [https://cicekdiyari.blogspot.com/2013/03/sus-lahanasi -brassica-oleracea](https://cicekdiyari.blogspot.com/2013/03/sus-lahanasi-brassica-oleracea)
- Anonim 5 [https://laidbackgardener.blog/2021/10/22/are-flowering -cabbages-edible/](https://laidbackgardener.blog/2021/10/22/are-flowering-cabbages-edible/)
- Anonim 6 <https://www.tarimuzmani.com/>
- Anonim 7 <https://www.thespruce.com/ornamental-cabbage-and-flowering-kale-1402853>
- Becker, R. F. (1986). Nonpathogenic disorders of cabbage. Processing Vegetables New York State Agricultural Experiment Station, Geneva, Page: 625.00
- Błażewicz-Woźniak, M., Rybicka, A., & Fil, M. (2021). Growth, decorative and nutritional values of ornamental cabbage (*Brassica oleracea* L.) in flowerbed conditions.
- Carter, K. (2003). Ornamental kale. Center for landscape and urban Horticulture. Cooperative Extension/Botany Plant Sciences Dept., University California Riverside.
- Dhiman, M. R., Kumar, S., Parkash, C., Sharma, R., Singh, K. P., Gautam, N., & Singh, R. (2019). Antioxidant potential and anthocyanin pigmentation profile of different coloured cultivars of ornamental kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala* DC). IJCS, 7(4), 136-143.
- Gibson, J. L., & Whipker, B. E. (2000). Ornamental cabbage and kale cultivar comparison study: growth characteristics and response to daminozide and uniconazole sprays. HortScience, 35(4), 565E-565d.
- Johnson, H. Jr., (1980). Hydroponics. A Guide to Soilless Culturesystems. Division of Agricultural Sciences, University of California Leaf let 2947.
- Kabay, T. (2025). İç mekan süs bitkilerinin yeni üyesi saksı sebzeciliği. Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences, 12(1), 9-14.

- Latin, R., & Helms, K. (1990). Identification and Control of Crucifer Diseases. Historical, Documents of the Purdue Cooperative Extension Service. Paper 421. <https://docs.lib.purdue.edu/agext/421>
- McAvoy, R. (1994). Cultural tips for ornamental cabbage and kale. CT Greenhouse Newsletter, 180, 13-15.
- Sevgican, A. (1999). Örtüaltı Sebzeçiliği (Topraksız Tarım) Cilt II. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 526. Bornova İzmir.
- Whipker, B. E., Gibson, J. L., Cloyd, R. A., Campbell, C. R., & Jones, R. (1998). Success with ornamental cabbage and kale. Horticulture Information Leaflet, 507, 1-9.

BÖLÜM 8

TOPRAKSIZ ORTAMDA MARUL VE SALATAT ÜRETİMİ

Doç. Dr. Turgay KABAY¹

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÇIRKA²

<https://www.doi.org/10.5281/zenodo.17909035>

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

*Sorumlu Yazar: turgaykabay@gmail.com

²İğdır Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Iğdır, Türkiye
Orcid no: <https://orcid.org/0000-0001-6506-7407>

Giriş

Marul ve salata, açık alanlarda, seralarda, ışık ve sıcaklık ayarı olan kapalı alanlarda (iklim odaları v.b.) yılın her ayında yapılır. Bu alanlarda topraklı ve topraksız üretim yapılma şekli son yıllarda artış göstermiştir. Özellikle sera ve kapalı ortamların devreye girmesiyle, Ülkemizin her bölgesinde, yılın her ayında üretimi yapılmaktadır. Bunun dışında evlerde ve iş yerlerinde hobi olarak marul ve salata üretimi son yıllarda artmıştır.

Kıvırcık yapraklı salatalar (*lactuca sativa* L. var. *crispa*), baş oluşturan salatalar (*lactuca sativa* L. var. *capitata*), marul ise (*lactuca sativa* L. var. *longifolia*), uzun yapraklı ve göbek oluşturan düz yapraklara sahiptir.



Şekil 1 Göbekli yeşil düz yapraklı marul (*lactuca sativa* L. var. *longifolia*) (Anonim 1 2025)



Şekil 2 Göbekli kırmızı düz yapraklı marul (*lactuca sativa* L. var. *longifolia*) (Anonim 2 2025)



Şekil 3 Baş oluşturan salatalar (*lactuca sativa* L. var. *capitata*) (Anonim 3 2025)



Şekil 4 Kıvrıkcık yeşil yapraklı salatalar (*lactuca sativa* L. var. *crispa*) (Anonim 4 2025)



Şekil 5 Kıvırcık kırmızı yapraklı salatalar (*lactuca sativa* L. var. *crispa*) (Anonim 5 2025)

Marul ve salata üretimi, son yıllarda tohumdan fide üretimiyle yapılmaktadır. Ancak eski yöntem olarak bilinen, doğrudan tohum ekimiyle üretim çok azalmıştır. Hatta açık alanlarda, hobi olarak üretim dışında fazla rastlanmamaktadır. Doku kültürü ile üretimde sadece bilimsel çalışmalar için kullanılmaktadır. Ticari olarak yapılan üretimde fide ile üretim tercih edilmektedir.

Topraksız Marul ve Salata Fidesi Üretimi

Marul ve salata üretiminde, verim ve kalitenin iyi olması kaliteli ve sağlıklı fide kullanılmasıyla mümkündür.

Son yıllarda fide üretim şirketleri, her çeşit sebze fidesi ürettiği gibi marul ve salata fidesi de üretmektedir. Ticari olarak büyük pazarlara üretim yapan firmalar, fidelerini fide üretim firmalarından temin etmektedirler. Ancak üretici firmaların çok az kısmı kendi fidelerini üretmektedir.

Topraksız fide üretiminde en çok tercih edilen, torf, cocopeat (kokopit), perlit üretim ortamlarıdır. Fide üretiminde en çok, torf ile perlit veya cocopeat ile perlit karışımı tercih edilmektedir. Hazırlanan topraksız fide harçları, tohum ekim viyollerine doldurulur. Harç doldurulan viyoller hafif sulandıktan sonra marul ve salata tohumu ekimi yapılır. Tohum ekimi, viyollerde açılan 0.5-1cm yuvalara yapılır. Tohum ekimi bittikten sonra, hazırlanan besin çözeltisiyle, sisleme veya yağmurlama sulama şeklinde sulama yapılır (Kabay 2025).

Topraksız fide üretiminde kullanılacak besin çözeltisinde üreticiler, tarım firmalarının hazırladıkları A çözeltisi ve B çözeltisi şeklindeki hazır besin çözeltilerini tercih ettikleri gibi, besin elementi kaynaklı kimyasallardan, tercih edilen besin reçetelerindeki oranlar kullanarak, kendileri besin çözeltisi hazırlamaktadır.

Kendi hazırlayacağı besin çözeltisi için ise çoğunlukla, çizelge 1 ve çizelge 2 de verilen örnek besin çözeltisi reçeteleri tercih edilmektedir. Bunun dışında farklı besin çözeltileride kullanılmaktadır (Kabay 2025).

Çizelge 1. Hoagland besin çözeltisi (Johnson, 1980; Sevgican, 1999; Kabay 2025)

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

Çizelge 2. Topraksız tarımda tüm bitkiler için besin çözeltisi (Anonim, 6 2025; Kabay 2025)

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

Tohum çimlenme ve fide bakım işlemleri

Topraksız ortamda tohum ekimi bittikten sonra yağmurlama sulama veya sisleme yöntemiyle hazırlanan besin çözeltisiyle sulama yapılır. Tohum ekiminden itibaren sera sıcaklığı 18-21 °C’ de, gün uzunluğunun ise kısa gün çeşitlerinde 9-10 saat ve nötr gün çeşitlerinde ise 11-13 saat olarak ayarlanmalıdır. Bu ortamlarda fideler 4-5 yapraklı olduğunda pazara sunulur veya asıl yerlerine dikilir (Whitaker 1974; Günay, 1992; Vural ve ark. 2000; Kuepper, 2002; Eşiyok, 2012; Fusi ve ark. 2016; Ştef ve ark. 2018).

18-21 °C arasındaki sıcaklıklarda tohum çimlenme 4 günde başlar 6. veya 7. günde sağlıklı ve doğru ekim yapılmış tohumlar çimlenir (%90-%98). Tohum ekiminden itibaren sıcaklık düşerse çimlenme gün sayısı artar 10. veya -15 güne uzayabilir. Tohum ekiminden itibaren 10 °C’nin altında ve 25 °C’nin üstündeki sıcaklıklar tohum çimlenmesini olumsuz etkiler (Whitaker 1974; Günay, 1992; Vural ve ark. 2000; Kuepper, 2002; Eşiyok, 2012; Fusi ve ark. 2016; Ştef ve ark. 2018).

Fidelerin Asıl Yerlerine Dikimi

Marul ve salata üretiminde, tohum ekiminden dikime hazır fide aşamasına kadar 25-35 gün geçmektedir. Fide dikiminden hasada kadar geçen süre ise 50-60 gün olmaktadır. Buna göre hazır fide kullanan üreticiler ortalama 50-60 günde ürün alırken, fidesini kendi üreten üreticilerde ortalama 80-90 günde ürün almaktadır.

Dikime hazır hale gelen fidelerin dikiminde, yetiştirme ortamı olarak katı ortam kültürü veya su kültürü kullanılmaktadır.

Katı ortam kültürü

Katı ortam kültüründe kullanılan elemanların, su tutma ve havalanma özelliği olmalıdır, bitki köklerini sıkacak ağırlıkta olmamalıdır. Kullanılan katı ortamın tuzluluk değerinin düşük olması, hastalık, zararlı ve yabancı ot tohumları gibi etmenlerden arındırmak için steril edilmelidir. Organik ve inorganik katı ortam olarak sınıflandırılır.

Organik katı ortamlarda, torf, cocopeat (kokopit), talaş, ağaç kabuk ve yaprakları, sap, saman, mantar üretim ortamlarının artıkları, bitki artıkları, sebze ve meyve artıkları gibi birçok organik madde bulunur (Sevgican, 1999; Gül, 2008; Meriç ve ark., 2008; Özer ve ark., 2016; Pradhan ve ark. 2016; Arumugam ve ark. 2021; Mir ve ark. 2022).

İnorganik katı ortamlarda, kum, pomza, vermikülit, perlit, kayayünü, volkanik cüruflar gibi birçok inorganik madde bulunur (Sevgican, 1999; Gül, 2008; Meriç ve ark., 2008; Özer ve ark., 2016; Pradhan ve ark. 2016; Arumugam ve ark. 2021; Mir ve ark. 2022).

Kullanılan katı ortamlar, tek olarak kullanılacağı gibi, iki veya üç katı ortam karıştırılarak kullanılır. Ticari olarak üretim yapan üreticiler veya şirketler, Torf veya cocopeat (kokopit) ile perlit karışımını tercih etmektedir. Ticari olarak üretim yapan marul ve salata üreticileri, bu iki katı ortamı steril hale getirip, besin yönünden zenginleştirip üretime hazır hale getiren şirketlerden temin ederek kullanmaktadırlar. Böylece katı ortamdan gelen olumsuzlukların önüne de geçilmiş olur.

Temin edilen üretim ortamı, saksılara, balya şeklinde torba, hazır paket ve bloklar veya üretim küvetlerine doldurularak, fide dikimi yapılır. Fide dikiminde, sıra arası 40-50 cm ve sıra üzeri 20-30 cm aralıklarla açılan, fide dikim yuvalarına fide dikimi yapılır. Katı ortama fide dikiminden hemen sonra besin çözeltisiyle sulama yapılmalıdır.

Fide dikiminden sonra damlama sulama şeklinde kök bölgesine, katı ortam içinden veya katı ortam yüzeyinden geçirilen damlama sulama borularıyla sulama yapılır. Sulama yapılırken, besin çözeltilerinin her bitkiye ulaştığına bakılmalıdır. Besin çözeltisinin pH değeri 6-7 arasında olmalıdır. Sera sıcaklığı ortalama 18-21 °C de tutulması ve gün uzunluğunun da 9-10 saat olması halinde sapa kalkmadan yapraklı ve göbekli bir ürün elde edilir.

Su kültürü (Hidroponik)

Su kültüründe birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden akan su kültürü ve durgun su kültürü son yıllarda daha çok kullanılmaktadır.

Marul ve salata üretimini ticari olarak yapan üreticilerin çoğunun, günümüzde kullandıkları su kültürü, içinde besin çözeltilerinin dolaştırıldığı, belli büyüklükte borular veya kanallara açılan yuvalara fide dikimi şeklindedir. Bu boru ve kanallar genellikle 100 mm'lik PVC (Polivinil Klorür) boru ullanılmalıdır. 100 mm' nin altındaki borularda yapılan üretimlerde, gelişen kök sistemleri boruları tıkamaktadır. Bu durum ise besin çözeltilerinin akışına engel olmaktadır. Marul ve salata fidelerinin, 30-40 cm mesafelerde kanal veya borularda açılan yuvalarda dik tutturularak yapılır. Dik tutturma işleminde, pamuk veya benzeri yumuşak materyal kullanılır veya fide dikim aşamasında

açılan yuvalar, köklerin rahat girebileceği ve fidelerin yan düşmeyeceği boyutta olmalıdır. Fide dikim aralığı, 30 cm mesafeden daha az olursa sık dikim olduğu için köklerin yakın bitkiyle birbirine girmesi şeklinde, boruların tıkanmasına neden olur ve besin çözeltisinin akışını olumsuz etkiler (Sevgican, 1999; Gül, 2008; Meriç ve ark., 2008; Özer ve ark., 2016; Pradhan ve ark. 2016; Arumugam ve ark. 2021; Mir ve ark. 2022).

Bu yöntemde hazırlanan besin çözeltileri, hidrofor yardımıyla, bitki köklerinin zarar görmeyeceği şekilde ayarlanarak besin çözeltilerinin her bitki kök kısmından geçerek üçüncü tanka gelip tekrar bitkilere dolaştırılması şeklinde olur. Yani 1. ve 2. tankta besin çözeltisi karıştırıldığında hidrofor yardımıyla bitkilerin köklerinden 3. tanka gelmekte ve 3. tanktan tekrar bitki köklerine besin çözeltisi verildikten sonra, atıl olarak başka bir bitki sulamasında kullanılır veya atılır.

Durgun su kültürünün geçmişi çok eskiye dayanıyor. Bu yöntemde hazırlanan besin çözeltisi bitkinin bulunduğu ortamdaki suyun 7-10 gün arayla değiştirilmesine dayanır. Bu sistemde besin çözeltilerinin içine hava temizleme cihazı bulundurulması, kök çürümelerini ve köklerde yosunlaşmayı önlemektedir. Durgun su kültürünün iş yükünün fazla olması ve çok zaman almasından dolayı özellikle hobi üretimlerde daha çok tercih edilmektedir. Ticari anlamda kullanılan ve tercih edilen yöntem akan su kültürüdür.



Şekil 7 Akan su kültürü sistemi (Anonim 7 2025)



Şekil 8. Durgun su kültürü (Anonim 8 2025)

Sonuç

Marul ve salata üretiminde topraksız tarımın kullanılması son yıllarda artmıştır. Özellikle sera ve kapalı alanlarda üretim isteğinin artması da topraksız ortamda marul ve salata üretimini arttırmıştır.

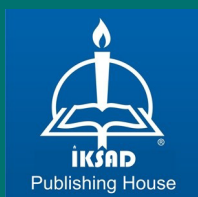
Sera ve kapalı ortamlarda iklimin kontrol altına alınması, gün uzunluğu ve sıcaklığın ayarlanması, besin çözeltisiyle tüm bitkilerin besin elementi ihtiyacının giderilmesi, hastalık, zararlı ve yabancı ot problemlerinin olmaması gibi nedenler, topraksız ortamda marul ve salata üretimini arttırmıştır.

Sera ve kapalı ortamlar, topraksız marul ve salata üretimini, yılın 12 ayı yapılmasına imkan vermektedir. Üretim sezonunun artması, sağlıklı, verim ve kalitesi yüksek ürün alınması, marul ve salata üreticilerinin sayısını arttırmaktadır.

Kaynaklar

- Anonim 1 <https://www.e-kamkat.com/dogal-yedikule-5701-marul-tohumu>
- Anonim 2 <https://www.tohumdunyasi.com.tr/super-red-romain-kirmizi-marul-tohumu>
- Anonim 3 <https://www.e-fidancim.com/urun/geleneksel-tohumlar-genis-yaprak-great-lakes-marul>
- Anonim 4 <https://www.fideal.com.tr/urun/elmaria-kivircik-marul-fidesi/>
- Anonim 5 <https://www.tohumdunyasi.com.tr/120-adet-italyan-lolla-rossa-kivircik-marul-tohumu>
- Anonim 6 <https://www.tarimuzmani.com/>
- Anonim 7 <https://store.esular.com/topraksiz-hidroponik-tarim>
- Anonim 8 <https://www.6sagro.com/urun/hidrobox-topraksiz-tarim-seti-large>
- Arumugam, T., Sandeep, G., & Maheswari, M. U. (2021). Soilless farming of vegetable crops: An overview. *Pharma Innov. J*, 10(1), 773-785.
- Eşiyok, D. (2012). Kışlık ve Yazlık Sebze Yetiştiriciliği. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü. Meta Basım Matbacılık Hizmetleri. Bornova İzmir.
- Fusi, A., Castellani, V., Bacenetti, J., Cocetta, G., Fiala, M., & Guidetti, R. (2016). The environmental impact of the production of fresh cut salad: a case study in Italy. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(2), 162-175.
- Gül, A. (2008). Topraksız Tarım. Hasad Yayıncılık. İzmir
- Günay, A. (1992) . Özel Sebze Yetiştiriciliği Seriler II. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bağ Bahçe Kürsüsü Yayınları. Ankara
- Johnson, H. Jr., (1980). Hydroponics. A Guide to Soilless Culturesystems. Division of Agricultural Sciences, University of California Leaf let 2947.
- Kabay, T. (2025). İç mekan süs bitkilerinin yeni üyesi saksı sebzeciliği. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences*, 12(1), 9-14.
- Kuepper, G., Bachmann, J., & Thomas, R. (2002). Specialty lettuce and greens: organic production. ATTRA.
- Meriç, M. K., & Öztekin, G. B. (2008). Topraksız tarımda kapılar sistemler. *Journal of Agriculture Faculty of Ege University*, 45(2), 145-152.

- Mir, Y. H., Mir, S., Ganie, M. A., Shah, A. M., Majeed, U., Chesti, M. H., & Wani, F. J. (2022). Soilless farming: An innovative sustainable approach in agriculture. *Pharma Innovation Journal*, 11(6), 2663-2675.
- Sevgican, A. (1999). Örtüaltı Sebzeçiliği (Topraksız Tarım) Cilt II. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 526. Bornova İzmir.
- Özer, H., Dönmez, İ., & Gülser, C. (2016). Bazı bölgesel organik atıkların topraksız tarımda (torba kültürü) kullanılabilme imkanlarının belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 31(2), 171-178.
- Pradhan, B., & Deo, B. (2019). Soilless farming—the next generation green revolution. *Current Science*, 116(5), 728-732.
- Ştef, A. V., Apahidean, A. S., Cărbunar, M., Bei, M., Apahidean, A. I., Domocoş, D., & Laczi, E. (2018). Culture starting time can influence the production of some salad cultivars grown in the field.
- Vural, H., Eşiyok, İ., Duman, İ. (2000). Kültür Sebzeleri. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü Yayınları. Bornova İzmir.
- Whitaker, T. W. (1974). Lettuce production in the United States. Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture.



ISBN: 978-625-378-437-9