

BİTKİSEL ÜRETİM SİSTEMLERİNDE GELİŞMELER VE UYGULAMALI YAKLAŞIMLAR

I

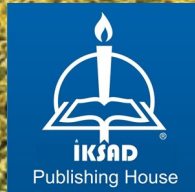
EDİTÖRLER

Dr. Öğr. Üyesi Nuray ÇİÇEK

Doç. Dr. Tuğba GÜRKÖK TAN

Prof. Dr. Cengiz YÜCEDAĞ

Doç. Dr. Ayşenur KAYABAŞ AVŞAR



BİTKİSEL ÜRETİM SİSTEMLERİNDE GELİŞMELER VE UYGULAMALI YAKLAŞIMLAR I

EDİTÖRLER

Dr. Öğr. Üyesi Nuray ÇİÇEK

Doç. Dr. Tuğba GÜRKÖK TAN

Prof. Dr. Cengiz YÜCEDAĞ

Doç. Dr. Ayşenur KAYABAŞ AVŞAR

YAZARLAR

Prof. Dr. Nurcan YİĞİT

Prof. Dr. Ömer Lütfü ÇORBACI

Prof. Dr. Serap KIRMIZI

Prof. Dr. Şebnem KUŞVURAN

Doç. Dr. Aşkın GÖKTÜRK

Doç. Dr. Ebru DERELLİ TÜFEKÇİ

Doç. Dr. Şemsettin KULAÇ

Doç. Dr. Hakan KARADAĞ

Doç. Dr. Halil SAMET

Doç. Dr. İnci Sevinç KRAVKAZ KUŞCU

Dr. Hakan DEMİRBAĞ

Dr. Hüseyin Ali ERGÜL

Dr. Mesut TANDOĞAN

Dr. Öğr. Üyesi Pınar PORTAKAL

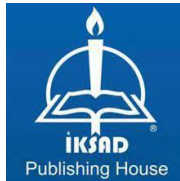
Peyzaj Yüksek Mimarı Feyzanur SOYYİĞİT

Zir. Yük. Müh. İbrahim ÖZTÜRK

Orm. Yük. Müh. Mehmet KOŞAR

Orm. Yük. Müh. Rabia PARMAKSIZOĞLU YAN

Orm. Yük. Müh. Zeynep ÇİÇEKLİ



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: 978-625-378-397-6

Cover Design: İbrahim KAYA

November / 2025

Ankara / Türkiye

Size: 16x24cm

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	1
------------	---

BÖLÜM 1

NİTRİK OKSİTİN TOHUM ÇİMLENMESİNDEKİ ROLÜ

Prof. Dr. Serap KIRMIZI.....	3
------------------------------	---

BÖLÜM 2

IN VITRO KÜLTÜR TEKNİKLERİ İLE BİTKİSEL ÜRETİMDE GELİŞMELER

Doç. Dr. Ebru DERELLİ TÜFEKÇİ.....	17
------------------------------------	----

BÖLÜM 3

BAZI İHLAMUR (*Tilia* sp.) TÜRLERİNDE FARKLI AŞILAMA YÖNTEMLERİNİN VE ZAMANININ AŞI TUTMA BAŞARISINA ETKİSİ

Orm. Yük. Müh. Rabia PARMAKSIZOĞLU YAN

Doç. Dr. Şemsettin KULAÇ.....	37
-------------------------------	----

BÖLÜM 4

AEROPONİK SİSTEMDE BİTKİ ÇOĞALTMA

Doç. Dr. Hakan KARADAĞ	59
------------------------------	----

BÖLÜM 5

PIRNAL MEŞESİNİN (*Quercus ilex* L.) FİDAN ÜRETİM VE AĞAÇLANDIRMA TEKNİĞİ

Dr. Mesut TANDOĞAN	79
--------------------------	----

BÖLÜM 6

Tuber aestivum Vittad.'un KIZILÇAM VE KARAÇAM FİDANLARINDA TUTMA BAŞARISININ TAYİNİ VE FİDAN PERFORMANSINA ETKİSİ

Orm. Yük. Müh. Zeynep ÇİÇEKLİ

Dr. Hakan DEMİRBAĞ.....	109
-------------------------	-----

BÖLÜM 7

SARIÇAM FİDANLARININ GELİŞİMİNDE ODUN KÜLÜNÜN ETKİSİ

Doç. Dr. Aşkın GÖKTÜRK

Orm. Yük. Müh. Mehmet KOŞAR131

BÖLÜM 8

***Daphne* L. TAKSONUNUN ÜRETİM YÖNTEMLERİ VE *Daphne pontica* L. TÜRÜNÜN ÇELİKLE ÜRETİM SÜREÇLERİ**

Prof. Dr. Ömer Lütfü ÇORBACI

Peyzaj Yüksek Mimarı Feyzanur SOYYİĞİT153

BÖLÜM 9

KASTAMONU'DA SALEP (*Orchis* spp.) YETİŞTİRİCİLİĞİ: TARIMSAL UYGULAMALAR, PROJELER VE YEREL KALKINMA POTANSİYELİ

Prof. Dr. Nurcan YİĞİT

Doç. Dr. İnci Sevinç KRAVKAZ KUŞCU.....187

BÖLÜM 10

BUĞDAYIN STRATEJİK ÖNEMİ: KÖKENİ, GELİŞİM SÜRECİ, YETİŞTİRME TEKNİKLERİ, KALİTE UNSURLARI, HASTALIK VE ISLAHI

Zir. Yük. Müh. İbrahim ÖZTÜRK207

BÖLÜM 11

NANOGÜBRELERİN TARIMSAL ÜRETİMDEKİ YERİ VE POTANSİYELİ

Prof. Dr. Şebnem KUŞVURAN231

BÖLÜM 12

BAKIR MADENİ SAHALARINDA REVEJETASYON ÇALIŞMALARININ BAZI BESİN ELEMENTLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Dr. Hüseyin Ali ERGÜL

Doç. Dr. İnci Sevinç KRAVKAZ KUŞCU.....261

BÖLÜM 13

SÜRDÜRÜLEBİLİR YEM BİTKİLERİNİN VE YEM KATKILARININ HAYVAN REFAHINA ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Pınar PORTAKAL277

BÖLÜM 14

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK PERSPEKTİFİNDE OTLATMA ALANLARINDA ZEHİRLİ BİTKİLER VE KLİNİK YANSIMALARI

Dr. Öğr. Üyesi Pınar PORTAKAL295

BÖLÜM 15

BİTKİSEL ÜRETİMDE ABİYOTİK STRES KOŞULLARINA KARŞI SİLİSYUMUN ETKİSİ

Doç. Dr. Halil SAMET311

ÖNSÖZ

Küresel ölçekte değişen çevresel şartlar, artan gıda talebi ve sürdürülebilir tarım gerekliliği, bitkisel üretimin her aşamasında yeni tekniklerin geliştirilmesini zorunlu hale getirmiştir. Bilimsel araştırmaların hızla ilerlediği günümüzde; tohum çimlenmesinden doku kültürüne, aeroponik sistemlerden ağaçlandırma tekniklerine, nanoteknolojik gübrelerden stres yönetimine kadar geniş bir yelpazede önemli gelişmeler yaşanmaktadır. Bu kitap, söz konusu gelişmeleri ele alarak araştırmacılar, öğrenciler ve uygulayıcılarla buluşturmak amacıyla hazırlanmıştır.

“Bitkisel Üretim Sistemlerinde Gelişmeler ve Uygulamalı Yaklaşımlar I” adlı bu eser, birbirinden farklı uzmanlık alanlarına sahip değerli araştırmacıların katkılarıyla 15 bölümden oluşmaktadır. Kitabın ilk bölümleri; nitrik oksidin tohum çimlenmesindeki rolü, *in vitro* kültür tekniklerindeki yenilikler, aşılama başarı kriterleri ve aeroponik sistemlerde çoğaltma yöntemleri gibi bitkisel üretimin temel biyoteknolojik boyutlarına ışık tutmaktadır. Devam eden bölümlerde; fidanlık ve ağaçlandırma teknikleri, *Tuber aestivum*’un fidan performansına etkileri, odun külünün sarıçam fidan gelişimine katkısı ve *Daphne* türlerinin üretim süreçleri gibi çeşitli ekosistemlere ilişkin özgün çalışmalar yer almaktadır.

Kitapta ayrıca; salep yetiştiriciliği, buğdayın stratejik önemi ve yetiştirme teknikleri, nanogübre uygulamalarının potansiyeli, bakır madeni sahalarında revejetasyonun besin elementleri üzerine etkisi, sürdürülebilir yem bitkileri ve yem katkıları, otlatma alanlarında zehirli bitkiler ve silisyumun bitkisel stres toleransındaki rolü gibi bitkisel üretimin farklı boyutlarını kapsayan konular ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

Bu kitabın; bitkisel üretim alanındaki güncel gelişmeleri yakından takip etmek isteyen araştırmacılar, akademisyenler, öğrenciler ve sahada çalışanları için önemli bir başvuru kaynağı olacağı ön görülmektedir. Her bölümde yer alan bilimsel değerlendirmelerin, yeni çalışmaların oluşmasına katkı sunması en büyük temennimizdir.

Kitabın hazırlanma sürecinde titizlikle çalışan tüm yazarlarımıza, bilgi ve deneyimlerini paylaşarak alana değerli katkılar sundukları için teşekkür ederim. Bu kitabın bitkisel üretim sistemlerinin geliştirilmesine ve güncel literatüre katkı sağlamasını diliyoruz.

Editörler

Dr. Öğr. Üyesi Nuray ÇİÇEK¹

Doç. Dr. Tuğba GÜRKÖK TAN²

Prof. Dr. Cengiz YÜCEDAĞ³

Doç. Dr. Ayşenur KAYABAŞ AVŞAR⁴

¹ Çankırı Karatekin Üniversitesi/Orman Fakültesi/Peyzaj Mimarlığı Bölümü/Bitki Materyali ve Yetiştiriciliği Anabilim Dalı/ Orcid ID: 0000-0001-5044-5276 nuraycicek3b@gmail.com

² Çankırı Karatekin Üniversitesi/Gıda ve Tarım Meslek Yüksekokulu/Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü/Tarla Bitkileri Pr./ Orcid ID: 0000-0003-0599-5628 tgurkok@gmail.com

³ Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi/Mühendislik-Mimarlık Fakültesi/Peyzaj Mimarlığı Bölümü/Bitki Materyali Anabilim Dalı/ Orcid ID: 0000-0002-5360-4241 yucedagc@gmail.com

⁴ Çankırı Karatekin Üniversitesi/Fen Fakültesi/Biyoloji Bölümü/Botanik Anabilim Dalı/ Orcid ID: 0000-0003-3555-4399 aysenurkayabas@karatekin.edu.tr

BÖLÜM 1

NİTRİK OKSİTİN TOHUM ÇİMLENMESİNDEKİ ROLÜ

Prof. Dr. Serap KIRMIZI¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17727815>

¹Bursa Uludağ Üniversitesi, Gemlik Asım Kocabıyık MYO, Bahçe Tarımı Programı, Bursa, Türkiye.
skirmizi@uludag.edu.tr, Orcid ID:0000-0002-2680-9815

1. GİRİŞ

Bitki hayat döngüsünün önemli bir aşaması olan çimlenme, çevresel stresler ve hormonal süreçler ile metabolik dengelenmeyi de gerekli kılan bir süreçtir. Dormansi sayesinde tohumlar, zor koşulları çimlenmeyi erteleyerek atlatırlar ve böylece hayatta kalabilme olasılıkları artar.

Fizyolojik Dormansi (FD); Gymnosperm ve Angiosperm bitki türlerinin çoğunda görülen en sık dormansi formudur. FD, ılıman bölgelerde toprakta ve tarlalardaki tohum bankalarında ve tarlada en sık gördüğümüz dormansi tipi olup, 3 seviyesi vardır; derin, ara ve derin olmayan (Baskin ve Baskin 2004). Fizyolojik dormansi gösteren tohumlarda kısa veya uzun sürebilen katlama ve gibberellik asit (GA) ve bazen de skarifikasyon çimlenmeyi sağlayabilmektedir.

Morfolojik Dormansi (MD); embriyosu tam gelişmemiş fakat farklılaşmış (örn, kotiledonlar, hipokotil, radikula) tohumlarda görülmektedir. Bu tohumlar dormant değildir, ancak embriyoları gelişme ve çimlenme için zamana ihtiyaç duyarlar ve böyle tohumlarda embriyonun bir süre sonra uzadığı görülür. Kereviz tohumları MD gösterirler.

Morfofizyolojik Dormansi (MFD); embriyonun tam olarak gelişmediği aynı zamanda buna fizyolojik bir bileşenin de eşlik ettiği durumlarda görülür. Bu tohumlarda nemli üşütme ve/veya GA uygulamaları dormansi kırıcı etki yapar. *Trollius sp.* ve *Fraxinus excelsior* türleri MFD gösterirler.

Fiziksel Dormansi (FY); tohumda veya meyva kabuğunda su geçirmeyen tabakaların bulunmasından dolayı olabilir. Mekanik veya kimyasal skarifikasyon Fiziksel dormansiyi kırabilir. Örneğin, *Mellilotus* ve *Trigonella* türlerinde fiziksel dormansi görülmektedir.

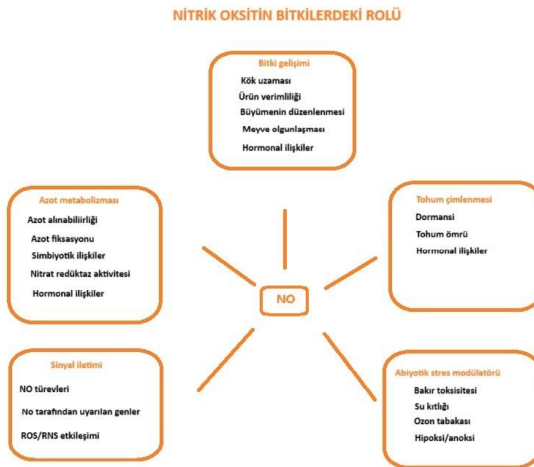
Kombinasyonel Dormansi (FY+FD); su geçirmeyen kabuğa sahip ve fizyolojik dormansinin birlikte olması durumudur. *Geranium* ve *Trifolium* türleri kombinasyonel dormansi gösterirler.

Işık, sıcaklık gibi çevre faktörleri, azotlu bileşikler gibi bazı kimyasallar tohum dormansisi ve çimlenme süreci için uyarıcı olarak görev yapar. Dormansinin kırılması veya devam etmesinde bitki hormonlarının rolleri bilinmektedir. Sonuç olarak ABA (absisik asit) ve GA gibi içsel hormon düzeylerinde değişiklikler yoluyla dormansinin devamı ya da kırılması gerçekleşir. Dolayısıyla tohum dormansisinden çimlenmeye geçiş, oldukça karmaşık bir süreçtir. Aynı zamanda mevcut azot kaynakları da bu süreçte rol

oynar (Yan ve Chen 2020). Son yıllarda nitrik oksit (NO) tohum fizyolojisini çeşitli yönlerde düzenleyen önemli bir gaz şeklinde sinyal molekülü olarak ön plana çıkmaktadır.

Azot (N), bitki büyüme ve gelişimi için hayati bir besin maddesidir. Reaktif azot türleri (RNS) de, bitki fizyolojik faaliyetlerinde önemli düzenleyici işlevlere sahiptir. Son çalışmalar bitkilerdeki başlıca RNS formlarının; nitrik oksit (NO), azot dioksit (NO₂), peroksinitrit (ONOO⁻), nitrat (NO₃⁻) ve nitrit (HNO₂) olduğunu bildirmiştir (Halliwell 2006; Del Rio 2015; Saddhe vd. 2019).

Bitki gelişiminde ve çevresel streslere karşı tepkide çeşitli gaz iletili moleküllerin rolleri ilgi çekmektedir. Bu türler arasında NO, özellikle tohum çimlenmesinin düzenlenmesi ve bitki verimliliğinin artırılması açısından kilit öneme sahip gaz formunda bir molekül olarak öne çıkmaktadır. NO, ABA metabolizması ve GA sentez yollarını düzenleyerek tohum çimlenmesini teşvik edebilir (Shu vd. 2016). Ayrıca sodyum nitroprussid (SNP), S-nitroso-N-asetil-D-penisilamin (SNAP) ve S-nitrosoglutatyon (GSNO) gibi NO vericilerinin de tohum dormansisini kırabildiği gösterilmiştir (Saddhe vd. 2019). Bunun yanı sıra farklı bitki türlerinin tohum çimlenmesi sırasında yine çoğu çalışma, NO ile fitohormonlar arasındaki etkileşimintohum biyolojisinde kritik bir rol oynadığını vurgulamıştır (Sanz vd. 2015) (Şekil 1).



Şekil 1. Nitrik oksitin bitkilerdeki muhtemel rolleri (Valderrama vd. 2021'den değiştirilerek)

2. NO YAPISI VE LABORATUVAR UYGULAMALARI

NO radikal formundadır ve eşlenmemiş elektronların varlığı nedeniyle yüksek bir reaktivliğe sahiptir. NO, eşlenmemiş orbital elektronlara veya geçiş metali iyonlarına sahip moleküllerle reaksiyona girer. Diğer reaktif azot türlerine dönüştürüldüğünde nükleik asit, proteinler ve lipitlerle reaksiyona girebilir.

Nitrik oksit'in tohumlara uygulanması genellikle priming yöntemiyle olmaktadır. Tohumlarda priming tohum canlılığını ve çimlenmeyi artırmak ve fidelerin çeşitli çevresel streslere duyarlılığını azaltmak için kullanılmaktadır. Bu nedenle, dünya çapında tohum şirketleri tarafından elverişsiz çevre koşullarında ürün verimliliğini artırmak için umut vaat eden yöntemlerden biri olarak çeşitli tohum priming teknikleri yaygın şekilde kullanılmaktadır (Garcia vd. 2022).

2.1. Tohumlarda ve fidelerde NO kullanımı

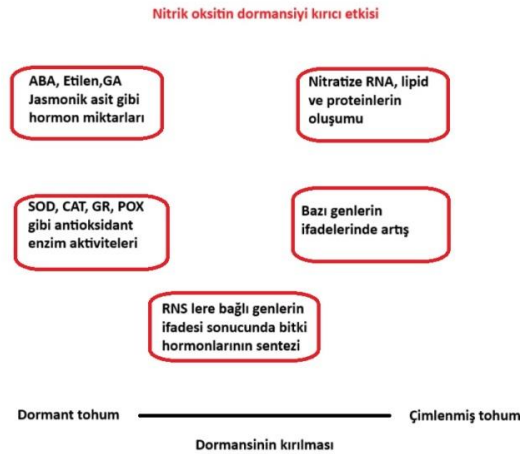
Tohumlarda ve fidelerde Nitrik oksit'in stres toleransına karşı kullanımların ilişkin bazı örnekler bulunmaktadır. Genellikle NO ve reaktif oksijen türleri ayrı ayrı veya kombine halde kullanılmaktadırlar. Örneğin; *Brassica napus* ve *Triticum aestivum*'da SNP ve H₂O₂ birlikte kullanılmış (Habib vd. 2020; Karimi vd. 2020), Mısır ve buğday fidelerinde 10-500 µM aralığında SNP uygulanmış ve stres koşullarında canlılığın arttığı gözlenmiştir (Patel vd. 2017; Bibi vd. 2020), *Daucus carota*'da kuraklık koşullarında 10-100 µM SNP çimlenmeyi arttırmış (Zhu vd. 2021), kanola çeşitlerinde de düşük sıcaklığa ve kuraklığa toleransı arttırmıştır. İlaveten SNP'nin metal toksisitesine karşı toleransı attırdığına dair kanıtlar da mevcuttur. Marulda, bakır toksisitesine karşı başarılı bulunmuştur (Shams vd. 2018), Hardal tohumlarında da 100 µM SNP, bakırın engellediği çimlenmeyi arttırmıştır (Rather vd. 2020). *Sesamum indicum* tohumlarında da kadmiyuma karşı toleransı attırdığı belirlenmiştir (Pires vd. 2016).

Nitrik oksit'in yukarıda bahsedilen amaçlarla tohumlarda kullanılması ile ilgili bazı netlik kazanmamış durumlar da bulunmaktadır. Örneğin SNP ile priming uygulaması demir ve siyanür iyonlarını açığa çıkartır. Ayrıca SNP ile işlem sırasında ışık koşulları da önemlidir çünkü SNP mavi ışıkta bozulmakta fakat kırmızı ışıkta ve karanlıkta stabildir. Bu nedenle de çalışma sonuçlarının aslında ihtiyatla yorumlanması gerekmektedir.

3. TOHUM DORMANSİSİ VE ÇİMLENMEDE NO-FİTOHORMON ETKİLEŞİMLERİ

Tohumlarda NO üretimi hem enzimatik hem de enzimatik olmayan yollar vasıtasıyla gerçekleşir. Tohumda şişmenin başlarında oksijen azlığı koşulları olduğu için çoğunlukla nitrat redüktazın etkin olduğu redüktif yollar NO üretiminde baskındır. Mitokondriyal nitrit indirgenmesi de önemli bir yoldur. Arjinine bağımlı yol ise yüksek bitkilerde daha az karakterize edilmiştir. Bunun yanında tohum hücrelerindeki asidik bölgelerde nitritin indirgenmesiyle enzimatik olmayan NO üretimi gerçekleşir. Böylece tohum çimlenmesinde Nitrik oksit'in hızlı ve lokal olarak artışı sağlanarak sinyal iletimi başlamaktadır.

NO vericileri kullanılarak fizyolojik dormansi gösteren tohumlarda dormansinin kırılması; *Malus domestica* embriyolarında (Gniazdowska vd. 2007), *Arabidopsis thaliana* tohumlarında (Liu vd. 2009), Buğdayda (Jacobsen vd. 2013), *Amaranthus retroflexus* tohumlarında da gösterilmiştir (Kepczy'nski vd. 2017). *Brassica oleracea*'da sekonder dormansiyi kırdığı (Sami vd. 2019) belirlenmiştir. Burada Nitrik oksit'in etki mekanizması, fitohormon içeriği ve sinyalizasyonunun düzenlenmesiyle bağlantılıdır (Şekil 2).



Şekil 2. Nitrik oksitin dormansinin kırılması ve çimlenmenin uyarılması üzerindeki etkileri (Ciacka vd. 2022'den değiştirilerek)

3.1. NO ve ABA etkileşimi

Nitrik oksit'in ABA ile ilgili biyosentezinin baskılanması, biyosentezden sorumlu genlerin aşağı regülasyonu, ABA yıkımının aktivasyonu gibi etkileri olmaktadır. Ayrıca Absisik asit'in birikimini engelleyerek de hormonu etkisiz hale getirebilir.

Birçok çalışmada NO varlığının tohumların Absisik asit'e duyarlılığını azalttığı bildirilmiş ve NO ile Absisik asit'in tohum çimlenmesinin düzenlenmesindeki rolleri *Arabidopsis* ve *Panicum virgatum* gibi bitkilerde gösterilmiştir. Yeni hasat edilmiş *Arabidopsis* tohumları ve dormant yabancı lahana tohumlarına NO uygulandığında ABA miktarında azalma gözlenmiştir (Sami vd. 2019; Matakadiadis vd. 2009).

Patates ve elma gibi türlerde de benzer şekilde Nitrik oksit'in ABA metabolizmasını etkileyerek dormansiye kırdığı ve çimlenmeyi uyardığı gösterilmiştir. Bu bulgular, Nitrik oksit'in ABA-GA dengesini değiştirerek tohum çimlenmesinde önemli bir düzenleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Böylece Absisik asit'in çimlenmeyi engelleyici etkisi azalmaktadır.

3.2. NO ve Etilen etkileşimi

Etilen'in (ET) etki mekanizması ve NO ile iş birliği yoluyla dormansinin kırılması ve tohum çimlenmesi üzerindeki rolü henüz tam olarak açıklığa kavuşturulamamıştır. Yüksek bitkilerde tohum çimlenmesi sürecinde NO aracılığıyla embriyonik dormansinin ortadan kaldırılması etilen senteziyle pozitif korelasyon göstermektedir. Yabancı ıspanakta bir NO kaynağı ile yapılan ön muamele sonrası uygulanan ET, tohumların çimlenmesini %30 oranında artırmıştır (Kecpczy'nski vd. 2017). Aynı çalışmada NO ve ET salıcı olarak bilinen ACC (1-aminosiklopropan-1-karboksilat) uygulamalarının çimlenmeyi teşvik edici etkisinin radikula çıkışından önce artan ET seviyeleri ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde NO ile muamele edilen elma embriyolarının kültür süresi uzatıldığında ET salınımında kademeli bir artış tespit edilmiştir (Gniadowska vd.2010).

3.3. Nitrik Oksit ile Gibberellik Asit ve Diğer Hormonların Etkileşimi

GA metabolizmasında nitrik oksit'in rolü enzimatik düzenleme ile yani aktif GA formlarına dönüşümünü teşvik etme, GA genlerinin transkripsiyonunun artması şeklinde olabilir. Ayrıca GA sentezini baskılayan

DELLA gen ailesinin de transkripsiyonu da NO tarafından baskılanabilir (Yan ve Chen, 2020). Ayrıca NO, jasmonik asit ve oksin gibi hormonlarla da etkileşime girerek çimlenmeyi olumlu yönde destekler (Jacobsen vd. 2013).

4. TOHUM METABOLİZMASINDA NİTRİK OKSİTİN ROLÜ

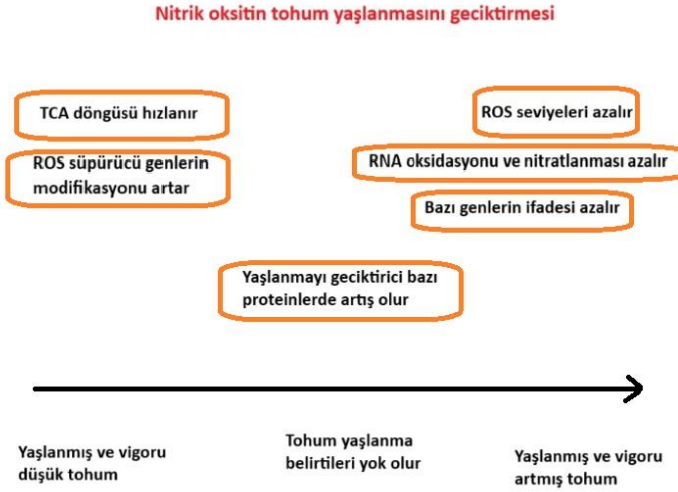
Tohumun çimlenmesi için depolanmış besin rezervlerinin hızlıca harekete geçirilmesi gereklidir. NO, glikoliz sürecinde rol oynayan heksokinaz 1, fosfofruktokinaz 6 ve piruvat kinaz genlerinin ekspresyonunu uyarak ATP ve metabolik ara ürünlerin oluşturulmasını destekler. Ayrıca α -amilaz ve β -amilaz gibi önemli enzim aktivitelerini artırarak nişastanın parçalanmasını ve erken fide gelişimi için kullanılabilir şekerlerin üretilmesini sağlar. Bu mekanizmalar hücre bölünmesi ve radikula çıkışı gibi enerji bağımlı süreçlerin etkin şekilde gerçekleşmesini sağlar.

5. NİTRİK OKSİT VE TOHUM YAŞLANMASI

Tohum çimlenme için uygun koşulları bulduğunda dormant değilse ve canlıysa çimlenir. Ancak yaşlanmanın bir sonucu olarak tohumda çimlenme gücü yani vigor, ciddi şekilde etkilenir. Diğer bir deyişle tohumların gücü azalabilir, zamana ve çevresel koşullara bağlı olarak çimlenme kapasitesi de tükenebilir. Örneğin, yüksek nemli koşullar veya uygun olmayan depolama sıcaklığı gibi faktörler canlılığı azaltabilir.

Çimlenme süreci büyük ölçüde önceden depolanmış mRNA ve proteinlere dayandığı için (Rajjou vd. 2004), DNA seviyesindeki hasarlar fidelerin gelişimini tamamen engelleyebilir. Bu nedenle özellikle DNA düzeyindeki hücresel onarım mekanizmaları aynı zamanda bazı proteinlerin translasyon sonrası modifikasyonları tohumun canlılığında hayati bir rol oynar (Rajjou vd. 2012).

Tohumun şişmesi sırasında yaralanmalara, abiyotik ve biyotik streslere yüksek hassasiyeti nedeniyle çimlenme bitki yaşam döngüsünün en kritik evresi olarak kabul edilir. Depolama ve çevresel koşullar tarafından etkilenen reaktif oksijen türleri ve reaktif azot türlerinin düzeyi gerekli sinyal iletim olayları ile zararlı oksidatif hasarlar arasında bir denge kurar (Bailly vd. 2008; Rajjou vd. 2008, 2012; Arc vd. 2011).



Şekil.3. Nitrik oksitin tohum yaşlanmasını geciktirici etkileri (Ciacka vd. 2022'den değiştirilerek)

6. GELECEK PERSPEKTİFLERİ VE YAKLAŞIMLAR

NO, tohum çimlenmesinde bir düzenleyici olarak hormonal, metabolik ve redoks sinyal yollarını düzenler. Absisik asit'i baskılayıp GA ve etilen sinyalini destekleyerek enerji üretimi ve protein modifikasyonlarını koordine eder. ROS ile dinamik etkileşimleri, kontrollü oksidasyonu sağlayarak hem sinyal hem de koruma görevini üstlenir. Stres koşullarında NO, antioksidan savunmayı güçlendirir ve çevresel sinyallerle hormonal düzenlemeleri birleştirir.

NO üretiminin mekânsal ve zamansal dinamikleri hala tam olarak bilinmemektedir. Yan etkileri minimize eden yeni NO vericilerinin geliştirilmesi önemlidir. NO, hormonlar ve besin sinyalleri arasındaki çapraz etkileşim üzerinde daha fazla araştırma yapılmalıdır. NO kullanımının tarımsal uygulamalara entegrasyonu, iklim değişikliğiyle artan stres koşullarında ürün verimliliğini artırmada umut vaat etmektedir.

7. SONUÇ

NO, tohum çimlenmesinde hormonal, metabolik ve redoks düzenlemeyi koordine eden vazgeçilmez bir sinyal molekülüdür. Dormansiye ortadan kaldırarak enerji metabolizmasını harekete geçirerek ve redoks dengesini sağlayarak başarılı fide gelişimini destekler. Stres koşullarında tohum

performansını artırması, Nitrik oksit'i sürdürülebilir tarımda kritik bir araç yapmaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmalar tarımsal uygulamalarda yenilikçi stratejilerin geliştirilmesini sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Arc, E., Galland, M., Cueff, G., Godin, B., Lounifi, I., Job, D. (2011). Reboot the system thanks to protein post-translational modifications and proteome diversity: how quiescent seeds restart their metabolism to prepare seedling establishment. *Proteomics*, 11, 1606–1618. doi: 10.1002/pmic.201000641
- Bailly, C., El-Maarouf-Bouteau, H., Corbineau, F. (2008). From intracellular signaling networks to cell death: The dual role of reactive oxygen species in seed physiology. *Comptus Rendus Biology*, 331, 806–814. doi: 10.1016/j.crv.2008.07.022
- Baskin, J.M., Baskin, C.C. (2004). A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research*, 14(1), 1-16.
- Bibi, A., Majid, S.A., Azhar, N., Amjad, M.S., Ashraf, S., Ahmad, I., Mumtaz, S., Ijaz, S. (2020). Differential changes in growth and enzyme activities of chilling induced wheat seedlings by nitric oxide priming. *International Journal of Agricultural Biology*, 23, 919–926.
- Ciacka, K., Staszek, P., Sobczynska, K., Krasuska, U., Gniazdowska, A. (2022). Nitric oxide in seed biology. *International Journal of Molecular Sciences*, 23, 14951.
- DelRío, L.A. (2015). ROS and RNS in plant physiology: An overview. *Journal of Experimental Botany*, 66, 2827–2837.
- Garcia, D. Zhao, S. Arif, S. Zhao, Y. Ming, L.C. Huang, D. (2022). Seed priming technology as a key strategy to increase crop plant production under adverse environmental conditions. *Journal of Agriculture Horticulture Research*, 5, 27–46.
- Gniazdowska, A., Dobrzyńska, U., Babańczyk, T., Bogatek, R. (2007). Breaking the apple embryo dormancy by Nitric oxide involves the stimulation of Ethylene production. *Planta*, 225, 1051–1057.
- Gniazdowska, A., Krasuska, U., Bogatek, R. (2010). Dormancy removal in apple embryos by Nitric oxide or cyanide involves modifications in Ethylene biosynthetic pathway. *Planta*, 232, 1397–1407.
- Habib, N., Ali, Q., Ali, S., Javed, M.T., Haider, M.Z., Perveen, R., Shahid, M.R., Rizwan, M. Abdel-Daim, M.M., Elkelish, A. (2020). Use of Nitric oxide and Hydrogen peroxide for better yield of wheat (*Triticum*

- aestivum* L.) under water deficit conditions: growth, osmoregulation, and antioxidative defense mechanism. *Plants*, 9, 285.
- Halliwell, B. (2006). Reactive species and antioxidants. Redox biology is a fundamental theme of aerobic life. *Plant Physiology*, 141, 312–322.
- Jacobsen, J.V., Barrero, J.M., Hughes, T., Julkowska, M., Taylor, J.M., Xu, Q., Gubler, F. (2013). Roles for blue light, Jasmonate and Nitric oxide in the regulation of dormancy and germination in wheat grain (*Triticum aestivum* L.). *Planta*, 238, 121–138.
- Karimi, Z., Khara, J. Habibi, G. (2020). Combined hydrogen peroxide and Nitric oxide priming modulate salt Stress tolerance in acclimated and non-acclimated oilseed rape (*Brassica napus* L.) plants. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 10, 27–43.
- Kepczyński, J., Cembrowska-Lech, D., Sznigir, P. (2017). Interplay between Nitric oxide, Ethylene, and Gibberellic Acid regulating the release of *Amaranthus retroflexus* seed dormancy. *Acta Physiologia Plantarum*, 39, 254.
- Liu, Y., Shi, L., Ye, N., Liu, R., Jia, W., Zhang, J. (2009). Nitric oxide-induced rapid decrease of abscisic acid concentration is required in breaking seed dormancy in *Arabidopsis*. *New Phytologist*, 183, 1030–1042.
- Matakiadis, T., Alboresi, A., Jikumaru, Y., Tatematsu, K., Pichon, O., Renou, J.P., Kamiya, Y., Nambara, E., Truong, H.N. The *Arabidopsis* abscisic acid catabolic gene CYP707A2 plays a key role in nitrate control of seed dormancy. (2009). *Plant Physiology*, 149, 949–960.
- Patel, P., Kadur Narayanaswamy, G., Kataria, S., Baghel, L. (2017). Involvement of Nitric oxide in enhanced germination and seedling growth of magnetoprimered maize Seeds. *Plant Signal Behaviour*, 12, e1293217.
- Pires, R.M.D.O., de Souza, G.A., Cardoso, A., Dias, D.C.F.D.S., Borges, E.E.D.L.E. (2016). Action of Nitric oxide in sesame seeds (*Sesamum indicum* L.) submitted to stress by Cadmium. *Journal of Seed Science*, 38, 22–29.
- Rajjou, L., Gallardo, K., Debeaujon, I., Vandekerckhove, J., Job, C., Job, D. (2004). The effect of alpha-amanitin on the *Arabidopsis* seed proteome highlights the distinct roles of stored and neosynthesized mRNAs

- during germination. *Plant Physiology*, 134, 1598–1613. doi: 10.1104/pp.103.036293
- Rajjou, L., Lovigny, Y., Groot, S.P.C., Belghazi, M., Job, C., Job, D. (2008). Proteome-Wide characterization of seed aging in *Arabidopsis*: A comparison between artificial and natural aging protocols. *Plant Physiology*, 148, 620–641.
- Rajjou, L., Duval, M., Gallardo, K., Catusse, J., Bally, J., Job, C. (2012). Seed germination and vigor. *Annual Reviews of Plant Biology*, 63, 507-533. doi: 10.1146/annurev-arplant 042811-105550
- Rather, B.A., Mir, I.R., Masood, A., Anjum, N.A., Khan, N.A. (2020). Nitric Oxide pre-treatment advances seed germination and alleviates Copper-induced photosynthetic inhibition in Indian Mustard. *Plants*, 9, 776.
- Saddhe, A.A. Malvankar, M.R. Karle, S.B. Kumar, K. (2019). Reactive nitrogen species: Paradigms of cellular signaling and regulation of salt stress in plants. *Environmental and Experimental Botany*, 161, 86–97.
- Sami, A., Riaz, M.W., Zhou, X., Zhu, Z., Zhou, K. (2019). Alleviating dormancy in *Brassica oleracea* seeds using NO and KAR1 with Ethylene biosynthetic pathway, ROS and antioxidant enzymes modifications. *BMC Plant Biology*, 19, 577.
- Sanz, L. Albertos, P. Mateos, I. Sánchez-Vicente, I. Lechón, T. Fernández-Marcos, M., Lorenzo, O. (2015). Nitric oxide (NO) and phytohormones crosstalk during early plant development. *Journal of Experimental Botany*, 66, 2857–2868.
- Shams, M., Yıldırım, E., Agar, G., Ercişli, S., Ekinci, M., Dursun, A., Kul, R. (2018). Nitric oxide alleviates Copper toxicity in germinating seed and seedling growth of *Lactuca sativa* L. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 46, 167–172.
- Shu, K. Liu, X.D. Xie, Q. He, Z.H. (2016). Two faces of one seed: Hormonal regulation of dormancy and germination. *Molecular Plant*, 9, 34–45.
- Valderrama, R., Chaki, M., Begara-Morales, J.C., Petrivalský, M., Barroso, J. B. (2021). Editorial: Nitric oxide in plants. *Frontiers in Plant Science*, 12, 705157.
- Yan, A., Chen, Z. (2020). The control of seed dormancy and germination by temperature, light and nitrate. *Botanical Review*, 86, 39–75.

Zhu, Z.H., Sami, A., Xu, Q.Q. Wu, L.L., Zheng, W.Y., Chen, Z.P., Jin, X.Z., Zhang, H., Li, Y., Yu, Y. (2021) Effects of seed priming treatments on the germination and development of two rapeseed (*Brassica napus* L.) varieties under the co-Influence of low temperature and drought. *Plos One*, 16, e0257236.

BÖLÜM 2

***IN VITRO* KÜLTÜR TEKNİKLERİ İLE BİTKİSEL ÜRETİMDE GELİŞMELER**

Doç. Dr. Ebru DERELLİ TÜFEKÇİ¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17727862>

¹Çankırı Karatekin Üniversitesi, Gıda ve Tarım Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Çankırı, Türkiye. ederelli@karatekin.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-1097-8574

1. GİRİŞ

Bitkisel üretim, insanların beslenmesinin ve çevresel sürdürülebilirliğin temelini oluşturmaktadır. Küresel nüfus artışının hızlanması ve ekilebilir arazilerin azalmasıyla birlikte, modern tarım sistemleri benzeri görülmemiş zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır. Gelişmiş gıda üretimine olan talebin yanı sıra çevresel bozulmayı azaltma ve iklim değişikliğine uyum sağlama ihtiyacı, gelişmiş bitki çoğaltma teknolojilerinin geliştirilmesini ve entegrasyonunu teşvik etmiştir.

Bitkilerde tohumla çoğaltma ve vejetatif üretim gibi geleneksel tarımsal yöntemler önemli olmakla birlikte, genellikle mevsimsel sınırlamalar, biyotik ve abiyotik stresler ve genetik materyallerin doğal değişkenliği ile kısıtlanmaktadır. Bu bağlamda, *in vitro* bitki kültürü teknikleri, bitki üretimi, genetik koruma ve mahsul geliştirme için hassas, kontrollü ve ölçeklenebilir çözümler sunan güvenilir ve verimli bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Bu bölüm, özellikle *in vitro* metodolojilere odaklanarak bitki üretim tekniklerine kapsamlı bir genel bakış sunmaktadır. Temel kavramları, teknik prosedürleri, tarım ve biyoteknolojideki uygulamaları ve küresel bitki üretim stratejilerini yeniden şekillendiren gelecekteki muhtemel yenilikleri araştırmaktadır.

2. GELENEKSEL BİTKİ ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Geleneksel bitki üretim yöntemleri dünya çapında tarım sistemlerinin temelini oluşturmaktadır. Bunlar arasında tohumla çoğaltma, vejetatif çoğaltma ve belirli ürünlere ve ekosistemlere göre uyarlanmış bir dizi agronomik uygulama yer almaktadır. Bu yöntemler güvenilir olmakla birlikte, verimlilik, mevsimsellik ve hastalık yönetimi açısından genellikle sınırlamalarla karşı karşıyadır.

Tohumla çoğaltma, yıllık ve iki yıllık bitkileri çoğaltmak için kullanılan en yaygın tekniktir (Meyer vd. 2012). Tohumların dağıtım, depolama ve kullanım kolaylığı nedeniyle avantajlıdır. Bununla birlikte, bazı türlerde düşük çimlenme oranları veya tohum dormansisi gözlenmekte olup, tekdüzelik istendiğinde genetik heterojenlik sorun teşkil edebilmektedir. Vejetatif çoğaltma, genetik olarak özdeş yavrular üretmek için gövde, yaprak veya kök gibi bitki parçalarının kullanılmasını içerir. Aşılama, çelikleme, katmanlama ve emdirme gibi yöntemler özellikle bahçe bitkilerinde önemlidir (Gaion vd. 2018). Bu yaklaşım elit özelliklerin korunmasını sağlar, ancak emek yoğunudur

ve genellikle çevresel koşullara bağlıdır. Agronomik uygulamalar toprak hazırlığı, gübreleme, sulama, haşere ve hastalık kontrolü ve ürün rotasyonunu kapsar. Bu uygulamalar bitki sağlığını ve verimliliğini önemli ölçüde etkiler ve sürdürülebilir mahsul üretimi için optimizasyonları kritik önem taşır (Maurya vd. 2019). Önemlerine rağmen, geleneksel çoğaltma ve yönetim yöntemleri, özellikle yavaş büyüyen, hastalıklara eğilimli veya genetik olarak değerli çeşitlerin çoğaltılmasında modern tarımın taleplerini karşılamak için bazı durumlarda yetersiz kalmaktadır (Loupit vd. 2023). Bu durum, geleneksel sistemleri tamamlamak ve geliştirmek için doku kültürü ve diğer *in vitro* yaklaşımların benimsenmesini gerektirmiştir.



Şekil 1. Geleneksel bitki üretim yöntemleri (Anonim 2025)

3. *IN VITRO* KÜLTÜR TEKNİKLERİ

In vitro kültür, bitki hücrelerini, dokularını veya organlarını steril koşullar altında yapay, kontrollü bir ortamda yetiştirme tekniğini ifade eder. Bu yöntemde, bitki hücrelerinin totipotensi (tam bir organizmaya dönüşme yeteneği) özelliğinden faydalanılır ve mevsimsel kısıtlamalardan veya toprak mevcudiyetinden bağımsız olarak bitkilerin çoğaltılmasını sağlar. Bitki doku kültürü ve bitki rejenerasyonu, bitki biyoteknolojisinin önemli unsurlarını oluşturur ve birçok bilimsel ve endüstriyel alanı kapsar (Mehbub vd. 2022). Son yıllarda, *in vitro* bitki rejenerasyonunu kontrol eden temel mekanizmaların

anlaşılmasında önemli ilerlemeler kaydedilmiş ve bu süreci geliştirmek için özel ekipman ve stratejiler hızla geliştirilmiştir. Bu gelişme, hem bitki bilimcilerin hem de endüstrinin dikkatini çekmiştir. Bununla birlikte, üstün genotipleri seçmek ve rejenerasyonunu sağlamak için stratejileri daha da geliştirmek ve böylece daha iyi tekrarlanabilirlik için protokolleri iyileştirmek konusunda sürekli bir talep bulunmaktadır.

Doku kültürü kavramı, bir asır önce ortaya atılmış ve somatik hücrelerden *in vitro* olarak bütün bitkilerin yenilenmesini öngörmüştür (Haberlandt 1902). Doku kültürü sistemi, farklı konsantrasyon oranlarındaki oksin ve sitokininin adventif kök ve sürgünlerin yenilenmesinde kritik öneme sahip olduğu tarihsel keşfinden bu yana olgunlaşmıştır (Skoog ve Miller 1957). Bitki doku kültürü, her biri kitlesel çoğaltma, genetik iyileştirme veya metabolit üretimi gibi belirli hedeflere göre uyarlanmış çok çeşitli metodolojileri kapsar. Süreç genel olarak; yüzey sterilizasyonu yapılan ve temel makro ve mikro besinler, vitaminler, bir karbon kaynağı (tipik olarak şeker) ve bitki büyüme düzenleyicileri içeren bir besin ortamında kültüre edilen bir sürgün ucu, düğüm veya yaprak gibi bir bitki kısmının-eksplantın- seçilmesiyle başlar. Işık yoğunluğu, fotoperiyot, sıcaklık ve bağıl nem gibi çevresel faktörler, optimum gelişimi teşvik etmek için kültür odalarında veya büyüme odalarında sıkı bir şekilde kontrol edilir. Bitki büyüme hormonlarının türü ve konsantrasyonu - özellikle oksinler ve sitokininler - meristematik özellik gösteren organize olmamış ve farklılaşmamış hücre kütlesi (kallus) oluşumu, sürgün başlatma veya kök indüksiyonu gibi gelişimsel yolların belirlenmesinde önemli bir rol oynar. Steward vd. (1958), havuç köklerinden izole edilmiş floem hücrelerini kullanarak yeni somatik embriyoların rejenerasyonunu başarıyla gerçekleştirmiş ve ardından kök ve sürgünler geliştirmişlerdir. Bu çalışma, bitki hücrelerinin totipotansiyelini doğrulamış ve günümüze kadar rejeneratif yeteneğe dayalı doku kültürü teknolojisi; temel araştırma, mikroçoğaltma ve transgenik ıslah gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bitki rejenerasyonunun yeteneği, bitki büyüme düzenleyicisinin (Guo vd. 2025) kullanımı, temel besiyerinin bileşimi (Chimdessa 2020) ve eksplant tipi (Minutolo vd. 2020) gibi birçok faktörden etkilenir. Önemli olarak, bitki doku kültürü güçlü bir tür bağımlılığı ve genotip özgünlüğü gösterir. Tütün (*Nicotiana tabacum*), *Arabidopsis thaliana* ve pirinç (*Oryza sativa*) gibi bazı bitkiler *in vitro* olarak kolayca yeniden üretilebilirken, soya fasulyesi (*Glycine*

max), buğday (*Triticum aestivum*) ve mısır (*Zea mays*) gibi diğer bitkilerin yeniden üretilmesi daha zordur. Ayrıca, Japonica çeşitleri, pirinçte Indica çeşitlerine göre kallus oluşumu için daha yüksek kapasite gösterir (Abe ve Futsuhara 1986). Mısırdaki melez hatların doku kültürü kapasiteleri, saf hatların kapasitelerinden daha yüksektir. Doku kültüründe bitki rejenerasyon yeteneğinin düzenleyici ağını ve genetik kontrolünü açıklığa kavuşturmak, bitki rejenerasyon oranlarını ve genetik dönüşüm verimliliğini artırmaya yardımcı olur.

3.1. Bitki doku kültüründe rejenerasyon süreçleri

Bitki doku kültüründe rejenerasyon somatik embriyogenez ve *de novo* organogenez olmak üzere iki temel aşamada incelenmektedir. Her iki yöntemde de bitkinin somatik ve üreme hücrelerinin her ikisi de gelişimsel plastisiteye sahiptir. Bitki hücresinin totipotensi ve plastisite özelliklerinden yararlanarak, bitkisel üretim -çoğaltma/yenilenme- sağlanır (Desai vd. 2022).

3.1.1. Somatik embriyogenez

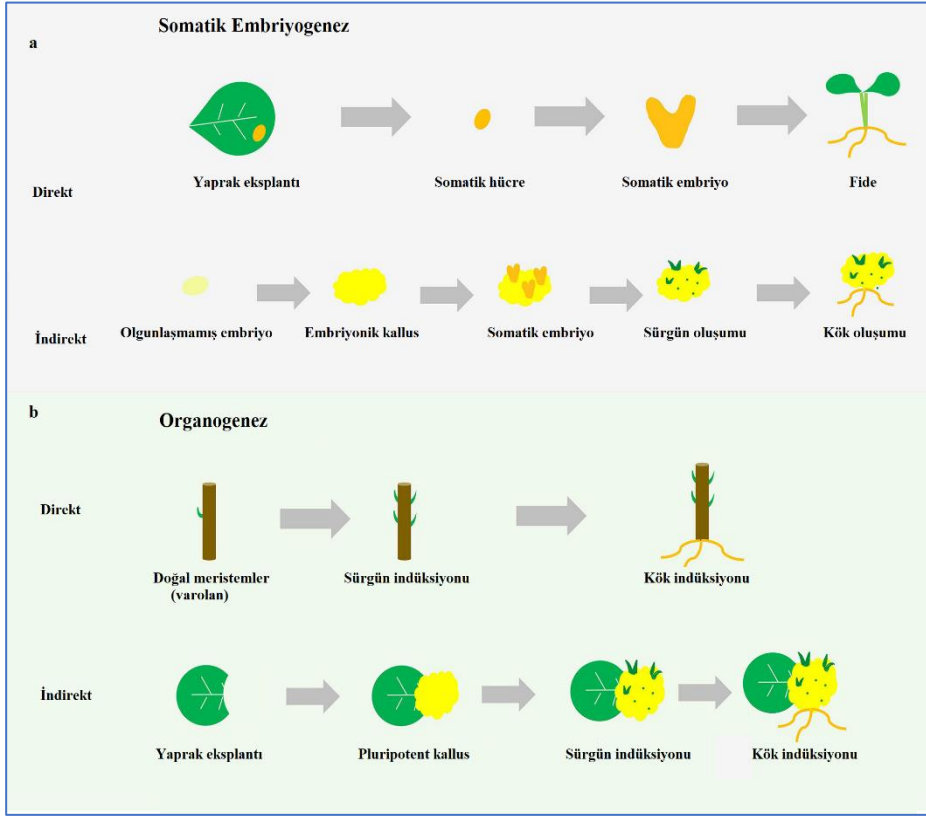
Somatik embriyogenezde, bitki somatik hücreleri (ör: yaprak parankima hücreleri, kök korteks hücreleri, epidermis hücreleri, ksilem ve floem hücreleri) embriyonik kök hücrelere farklılaşarak, embriyonik gelişim yoluyla tam bitkiler oluştururlar. Bu, bitki hücrelerinin embriyogenik kallus sayesinde totipotent olduklarını gösterir (Raza vd. 2019). Somatik embriyogenez, somatik hücrenin tekrar embriyonik kök hücreye geri dönüşmesine yol açar. Bu yol üzerinden farklılaşmanın ortadan kalkması genellikle stres koşulları, hormonal indüksiyon (ör. oksin) veya gen ekspresyonu modifikasyonu altında gerçekleşir. Somatik embriyolar, tek tek somatik hücrelerden doğrudan indüklenebilir veya embriyonik kallustan dolaylı olarak üretilebilir (Zhang vd. 2000).

Dolaylı somatik embriyogenez, özellikle tarım bitkilerinde en yaygın yol olup, embriyonik kallus (Şekil 2a) ile başlar. Embriyonik kallus indüksiyonunu, kallus kütlelerinin yüzeyinde veya içinde pro-embriyonik kütlelerin oluşumu izler ve bu kütlelerden tek hücreler veya hücre kümeleri somatik embriyolara dönüşür (Niazian vd. 2017). Uygun koşullar altında, somatik embriyolar sürgün ve kök haline gelebilir. Mısır bitkisinde yapılan bir çalışmada (Rakshit vd. 2010); embriyonik kallus yüksek düzeyde oksin ve düşük düzeyde sitokinin içeren kallus indükleyici bir ortamda, olgunlaşmamış embriyolar ve sürgün uçları gibi eksplantlardan oluşturulabilir. Yüksek düzeyde sitokinin ve düşük

düzeyde oksin içeren sürgün indükleyici ortama aktarıldığında, embriyonik kallus sürgünlere farklılaşır. Kök rejenerasyonu için, embriyonik kallusun inkübasyonu için sitokinin içermeyen, bir miktar oksin içeren kök indükleyici ortam gereklidir.

Doğrudan somatik embriyogenezde ise, kallus oluşumu basamağı hiç gözlenmez ya da oldukça sınırlı düzeyde gerçekleşir (Şekil 2a). Bu sistemde, eksplant daha düzenli ve kompakt bir hücre bölünmesi sergiler ve daha az üretkendir (Koh vd. 2000). Bir veya daha fazla hücre tabakasındaki tek tek somatik hücreler, uygun koşullar altında bölünür ve şişer, böylece morfolojik olarak tanınabilir, bütün bir bitkiye dönüşebilen yeni bir embriyo haline gelir. Örneğin, mısırdaki morfojenik transkripsiyon faktörleri BABY BOOM (BBM) ve WUSCHEL (WUS)2'nin konstitütif ekspresyonu, skutella üzerinde bol miktarda somatik embriyonun hızlı bir şekilde oluşmasına neden olmuştur (Lowe vd. 2018). Bu somatik embriyolar daha sonra kallus aşaması olmadan doğrudan bitkilere çimlendirilebilir.

Doğrudan ve dolaylı somatik embriyogenez yolları aynı eksplantta meydana gelebilir, ancak yenilenmiş bitkilerin elde edilme süreleri farklıdır (Pinto vd. 2002). Doğrudan somatik embriyogenez yoluna kıyasla, dolaylı yol, kallus indüksiyon süreci nedeniyle bitkilerin yenilenmesi için daha uzun bir süre gerektirir. Bu nedenle, dolaylı somatik embriyogenez yolu sıklıkla somaklonal varyasyonla ilişkilidir. Ancak, dolaylı somatik embriyogenez yolu, kallusun bol proliferasyonu nedeniyle doğrudan yoldan daha fazla rejenerasyonlu bitki filizine yol açar. Bu nedenle, amaç bitkilerin hızlı bir şekilde yenilenmesi ise, doğrudan yol dolaylı yoldan daha verimlidir. Ancak, eksplantların elde edilmesinin zor olduğu türler veya çok sayıda yenilenmiş bitki istenen durumlarda, dolaylı yol daha iyi bir seçimdir (Jiang vd. 2021).



Şekil 2. Bitki doku kültüründe farklı rejenerasyon aşamaları (Long vd. 2022). [(a) Somatik embriyogenez. Doğrudan yolda, eksplantlardan kaynaklanan somatik hücre, somatik embriyo oluşturmak için indüklenir ve bu embriyo daha sonra tüm bitkinin gelişimini yönlendirir. Dolaylı yolda, eksplant embriyonik kallus oluşumunu başlatmak için indüklenir ve bu kallus üzerinde somatik embriyolar oluşur, bunlar daha sonra sürgünler ve kökler geliştirir. (b) Organogenez. Doğrudan yolda, sürgünler ve kökler önceden var olan meristemlerle doğrudan gövdede indüklenir. Dolaylı yolda, yaprak eksplantındaki yaranın çevresinde pluripotent kallus üretilir ve ardından sürgün ve kök oluşumu indüklenir].

3.1.2 Organogenez

Organogenez, somatik embriyo kullanmayan, bunun yerine meristemik merkezin farklılaşmasını içeren ve bitki hücrelerinin pluripotansiyetini yansıtan rejeneratif süreci ifade eder. *De novo* organogenez gibi bitki rejeneratif mekanizmaları, *in vitro* olarak veya hasarlı bitki organlarından adventif köklerin ve/veya adventif sürgünlerin rejenerasyonuna yol açar ve bu durum doğada sıklıkla görülür (Wu vd. 2021). Adventif sürgünlerin ve köklerin rejenerasyon süreci *de novo* sürgün organogenezi ve *de novo* kök organogenezi

olarak adlandırılır. Somatik embriyogenez gibi *de novo* organogenez de doğrudan veya dolaylı rejenerasyon yolu olarak sınıflandırılabilir (Şekil 2b). Somatik embriyogenezde olduğu gibi, sürgünler veya kökler, uygun koşullar altında önceden var olan meristemlerden veya hasarlı organlardan doğrudan indüklenir (Shin vd. 2020). *In vitro* koşullarda kesme-çoğaltma teknolojisi, organları yeniden oluşturmak için kullanılan doğrudan *de novo* organogenezine dayanmaktadır. Dolaylı *de novo* organogenez sırasında, hücreler dediferansiyasyona uğrar ve bitki büyüme düzenleyicileri hücre bölünmesini uyarır (Kurmi vd. 2011). Ardından, ek dediferansiyasyon (üretilen farklı doku hücrelerinin şekil ve fonksiyon değişimleri) geçirmiş hücreler daha fazla kültür süresi ile indüklenir ve nihayetinde pluripotent kallus oluşturur. Tüm koşullar sağlandığında, pluripotent kallus fizyolojik ve biyokimyasal değişikliklere uğrar ve bu da farklı hücre bölünme pozisyonları ve yönleri ile sonuçlanır. *De novo* sürgün organogenez ve *de novo* kök organogenez, farklı oksin ve sitokin kombinasyonları kullanılarak başlatılır (Collado vd. 2013).

De novo organogenez ile somatik embriyogenez arasındaki temel fark, somatik embriyo oluşumunun olmamasıdır, ancak her iki yol da doğrudan ve dolaylı rejenerasyon yöntemlerini içerir (Şekil 2). Kallus, iki dolaylı yöntemde de oluşur, ancak kallusun özellikleri farklıdır. Somatik embriyogenez, totipotensiye sahip embriyogenik kallus oluşumuna ve ardından somatik embriyo gelişimine yol açarken *de novo* organogenez pluripotensiye sahip embriyogenik olmayan kallus oluşumunu tetikler. Ayrıca, dolaylı *de novo* organogenez, somatik embriyogeneze benzer şekilde genetik instabilite ve somaklonal varyansa neden olabilir (Kurmi vd. 2011). Eksplantlardan doğrudan organ üretimi zaman kazandıran bir yöntemdir, ancak hem transformasyona uğramış hem de uğramamış hücreler içeren kimerik sürgünlerin üretilmesi nedeniyle transgenik araştırmalar için uygun değildir (Firoozabady ve Moy 2004). Birçok çalışma, tahıl bitkilerinin olgunlaşmamış tohumlarından veya embriyolarından embriyonik doku indüksiyonunu bildirmiştir, bu da somatik embriyogenezin yılın belirli bir zamanıyla sınırlı olduğunu göstermektedir (Jones vd. 2019). Bununla birlikte, organogenez için kullanılan materyal çoğaltıcı ve mevsimsel olarak esnektir ve *de novo* organogenez indüklemesi kolay olan bazı organlar veya dokular için somatik embriyoların geliştirilmesi zor olabilir. Bu nedenle, ticari pazar veya bilimsel

araştırma için belirli bir türde fide rejenerasyonunun sıklığını artırmak amacıyla bazen iki yol birleştirilir.

3.2. Bitki rejenerasyonunu etkileyen çevresel faktörler

3.2.1. Eksplant kaynakları

Tüm bitki hücreleri, bitkinin tamamını yeniden üretme potansiyeline sahip olsa da bu kapasitenin ifade edilme kolaylığı bitki türleri ve çeşitleri arasında, hatta aynı bitkinin hücreleri arasında bile farklılık gösterir. Örneğin, mısır stokunun sadece bir kısmı doku kültüründe bitki yenilenmesine sahiptir. Bunlar arasında birkaç kendi kendine döllenmiş hat, F1 melezleri ve açık tozlaşan melezler bulunur (Hodges vd. 2012). Yapılan bir çalışmada, bitki yenilenme yeteneğini incelemek için 101 mısır kendi kendine döllenmiş hattı test edilmiş ve sadece %49'unun tüm bitkileri yenileyebildiği, bitki yenilenmesi için kallus üreten melezlerin %97'sinin en az bir yenilenebilir ebeveyne sahip olduğu bulunmuştur (Duncan vd. 1985). Başka bir çalışmada, toplam 113 tropikal mısır saf hattı doku kültürü tepkisi açısından değerlendirilmiş ve sadece 42'sinin embriyonik kallus indüksiyonu yeteneğine sahip olduğu ortaya çıkmıştır (Carvalho vd. 1997). Ayrıca, bir kültür çeşidinde bitki rejenerasyonu için elverişli koşullar, bazen aynı türün başka bir kültür çeşidinde bitki yetiştirmek için yetersiz olabilir.

Eksplantların yaşı, doku kültüründe bitki yenilenmesini etkileyen bir başka faktördür. Her canlı hücre tüm bitkiyi yenileyebilir, ancak çoğu çalışma aktif büyüme ve güçlü fizyolojik metabolizmaya sahip hücreleri veya dokuları eksplant olarak kullanır. Doku kültüründe kullanılan eksplantlar arasında en yaygın olarak kullanılanlar, mısır, pirinç, buğday, arpa ve diğer önemli tahıl bitkileri dahil olmak üzere olgunlaşmamış embriyolardır. Olgunlaşmamış çiçek salkımları da sorgum, buğday ve arpa için uygun eksplantlardır (Long vd. 2022). Ayrıca, fidelerden çıkarılan olgunlaşmamış kotiledonlar ve hipokotil segmentleri genellikle *Pterocarpus marsupium* (Husain vd. 2007), *Cassia angustifolia* (Siddique vd. 2015) ve *Santalum album* L. (Peeris ve Senarath, 2015) gibi tıbbi bitkiler için kullanılır. Ek olarak, buğday (Farshadfar vd. 2012), sorgum (Sai vd. 2006) ve çavdar (Zimny ve Michalski 2019) gibi bitkilerin genç yapraklarından embriyogenik kallus başarıyla indüklenmiştir ve kök uçları, sürgün uçları, anterler ve polen dahil olmak üzere diğer eksplantlar da bildirilmiştir.

Eksplant türü ne olursa olsun, ilk hücre bölünmesi kambiyum ve vasküler demetlerin yakınındaki genç bir kısımda başlar. Genç gelişim aşamasındaki eksplantlar, yetişkin eksplantlara göre daha rejeneratif ve daha yüksek totipotansiyeye sahiptir. Örneğin, farklı yaşlardaki mısır fidelerinde embriyonik kallus indüksiyonunun sıklığını araştıran bir çalışma, 2-6 cm uzunluğundaki fidelerde, daha uzun fidelerden daha yüksek embriyonik kallus indüksiyon sıklığı bulmuştur (Long vd. 2022). Ayrıca, çalışmalar, eksplantların çeşitli kısımlarındaki endojen hormonlar ve besin maddelerindeki farklılıkların rejeneratif yeteneklerindeki farklılıkları açıklayabileceğini göstermektedir. Endojen hormonlardaki değişiklikler, doku kültüründe eksojen hormonlara olan talebi de etkilemektedir (Jiménez 2001).

3.2.2. Bitki büyüme düzenleyicileri

Ekzojen hormonlar, özellikle oksin, sitokinin ve diğer bitki büyüme düzenleyiciler, bitki somatik embriyogenezi ve *de novo* organogenezinde önemli bir rol oynar. Bitkilerin *in vitro* rejenerasyonu, ekzojen hormonların eklenmesine ve doku kültürü sırasında bu hormonlara verilen tepkiye bağlıdır. Genel olarak, eksplantların bitki büyüme hormonlarına tepkisi üç aşamadan oluşur: (1) kültürlenmiş eksplant hücreleri, bitki hormonu sinyallerini algılayarak sonraki dediferansiyasyonu indükler; (2) bitki hormonu dengesinin etkisiyle, bitki dokusundaki belirli hücreler için farklılaşma talimatları verilir ve bu da belirli organların sonraki farklılaşmasının temelini oluşturur ve (3) bitki morfogenez, ekzojen hormonlardan bağımsız olarak gerçekleşir (Kumari vd. 2018).

Somatik embriyogenez, ekzojen oksin tarafından başlatılsa da daha sonraki aşamaları için oksin gerekmez. Bunun olası bir nedeni, ekzojen oksinin endojen oksinin sentezini teşvik etmesi ve bunun sonucunda endojen oksinin artmasının rejenerasyonu teşvik etmesidir (Satyavathi vd. 2004). Oksin, doku kültüründe birçok tür için somatik embriyogenezin en önemli belirleyicisidir. Ekzojen oksin, 1-aminosiklopropan-1-karboksilik asit dahil olmak üzere etilen sentezinin endojen öncüllerinin üretimini indükleyerek kültürlenmiş materyallerden kallus oluşumunu teşvik eder. Sentetik bir oksin olan 2,4-diklorofenoksiasetik asit (2,4-D), birçok türde, özellikle tahıl bitkileri ve tıbbi bitkilerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Gaj (2010), Arabidopsis'te yaptığı çalışmada denemelerinin %65'inden fazlasında 2,4-D'nin tek başına veya diğer

hormonlarla birlikte kullanıldığını bildirmiştir. Ayrıca, 2,4-D'nin konsantrasyonu kallus oluşumunu önemli ölçüde etkiler ve bu optimal konsantrasyon, tür veya dokuya bağlı olarak değişkenlik gösterir. Genel prensip, düşük konsantrasyonun embriyonik kallus oluşumunu teşvik ederken, yüksek konsantrasyonun oluşumunu engellediğidir. Çoğu *Poaceae* türleri için embriyonik kallus oluşumunu indüklemek için 2 mg/l 2,4-D optimum konsantrasyon olarak belirlenmiştir (Wang vd. 2008) ve birçok tıbbi bitkide somatik embriyo indüksiyonu için 5–10 µm 2,4-D önerilmektedir (Parveen ve Shahzad 2014). Ancak, embriyonik kallus embriyo haline gelip fideyi yeniden oluşturduktan sonra ortama 2,4-D eklemeye gerek yoktur, bu da 2,4-D'nin etkisinin embriyojenik kallus indüksiyonu sırasında arttığını ve embriyojenik kallusun tam bir bitkiye dönüşmesi sırasında engellendiğini göstermektedir (Parveen ve Shahzad 2014). Ek olarak, indol-3-asetik asit (IAA) ve α naftalen asetik asit gibi farklı konsantrasyonlardaki oksinler de doku kültüründe adventif köklerin farklılaşmasını teşvik etmede önemli bir rol oynar (El-Sherif 2018).

Sitokinin, doku kültüründe adventif sürgün indüksiyonu ve somatik embriyogenezin başlatılmasında en yaygın kullanılan bitki büyüme hormonudur. *De novo* sürgün rejenerasyonu, hücre mitozunun aktivasyonunu içeren hücre proliferasyonunu gerektirir. Sitokinin, sürgün rejenerasyon sürecinde yetkin hücreleri etkileyerek hücre kütlesi oluşumuna ve hücre kaderinin dönüşümüne yol açar. Sitokinin, tek başına adventif sürgünleri indükleyebilir ve seçilen hücrelerde proliferasyonu güçlendirmek için oksin ile iş birliği yapar (Cortleven vd. 2019). Skoog ve Miller (1957), yüksek sitokin-oksın oranının sürgün oluşumunu uyardığını, düşük oranda ise köklerin oluştuğunu öne sürmüştür. Bugüne kadar, altın hormon-yenilenme modeli, *in vitro* eksplantların kaderini belirleyen bir kılavuz olmuştur. Sitokinin, sürgün yenilenmesini indüklemenin yanı sıra somatik embriyogenez de başlatmıştır. Sadece 6-benzyladenin içeren MS ortamının *S. album* L.'de yüksek sıklıkta somatik embriyo farklılaşmasını indükleyebildiği bildirilmiştir (Akhtar ve Shahzad 2019). Ayrıca, absisik asit (ABA) ve gibberellin (GA) gibi bitki büyüme hormonlarının bitki rejenerasyonu üzerindeki etkileri de bildirilmiştir (Shah vd. 2023).

3.2.3. Bazal kültür ortamı

Murashige ve Skoog (MS), N6, Woody Plant Medium (WPM) ve B5 dâhil olmak üzere çeşitli kültür ortamları, kallus indüksiyonu ve sürgün farklılaşması amacıyla kullanılmakta olup, doku kültüründe bitki rejenerasyonunu önemli ölçüde etkilemektedir. Ancak, farklı türler veya dokular, optimal sonuçlar için farklı bazal ortamlar gerektirebilir. Örneğin, Paskalya zambağı (*Lilium longiflorum* L. cv. Ace) yumurtalık dokularından bitki rejenerasyonu sırasında MS besiyerinde B5 besiyerine göre daha verimli kallus oluşumu ve daha yüksek sürgün farklılaşması göstermiştir (Ramsay vd. 2003). Ancak, N6 ortamı, pirinç (*O. sativa*; Sundararajan vd., 2017) için MS ortamından daha yüksek kals ve yeşil bitki yüzdeleri indüklemiştir. Hint sirisi (*Albizia lebeck*) için, WPM ortamı ile en yüksek birincil somatik embriyo gelişimi elde edilirken, birincil somatik embriyoların olgunlaşması MS ortamında artmıştır (Parveen ve Shahzad 2014).

Somatik embriyoların fideye dönüştürülmesi sırasında, birçok tıbbi bitkide yarı güçte MS ortamı diğer ortamlara göre daha iyi performans göstermiştir (Parveen ve Shahzad 2014). Ek olarak, karbon kaynağı, kültür ortamında bitki rejenerasyonunu etkileyen hayati bir bileşendir. Şeker, kültür için enerji sağlar ve geçirgenlik ortamının ana düzenleyicisidir; glikoz, sükroz ve maltoz, bitki doku kültüründe en sık kullanılan şeker türleridir. Küçük şeker molekülleri canlı hücrelere nüfuz edebilir ve somatik embriyoları dehidre edebilir, böylece somatik embriyo olgunlaşmasını teşvik edebilir. Ayrıca, somatik embriyogenez sırasında düşük sükroz konsantrasyonu, somatik embriyo oluşumu için avantajlıdır (Long vd. 2022). Ancak, Malik vd. (2017), maltozun olgun buğday embriyoları için diğer karbon kaynaklarına kıyasla, maksimum kallus oluşumu ve rejenerasyon yüzdesine yol açtığını, ayrıca glikoz ve sükroz ile karşılaştırıldığında, maltoz bitki hücrelerinin kahverengileşmesini daha etkili bir şekilde engellediğini tespit etmiştir. Kültür ortamına eklenen mannitol ve metal iyonları gibi diğer bileşenler de eksplantların rejenerasyon yeteneğini etkileyebilir.

3.2.4. Aydınlık/karanlık uygulaması

Işık koşulları altında, eksplantlardaki fenolik bileşikler polifenol oksidazlar tarafından okside olur ve doku kahverengiye döner. Oksidasyon ürünleri dokuları koyulaştırabilir ve çeşitli proteinlerin aktivitesini inhibe

edebilir, bu da somatik embriyo oluşumuna potansiyel olarak olumsuz etki edebilir (Wei vd. 2020). Bu nedenle, birçok tür için kallus oluşumu, bakımı ve olgunlaşması bitkide karanlık koşullar gerektirir. Yapılan bir çalışma, ışığın oksinleri parçalayarak bitkilerdeki endojen sitokinin ve oksin seviyelerini azalttığını belirtmiştir (Nameth vd. 2013). Bu bağlamda, karanlık, eksplantlarda kallus oluşumunu desteklemek için yüksek oksin-sitokinin oranının korunmasına yardımcı olabilir. Ek olarak, karanlık koşullar hücre duvarlarının incelmeye ve hücre duvarı birikintilerinin azalmasına yol açarak bitki büyüme hormonlarının hücrelere girişini kolaylaştırabilir (Zhang vd. 2025). Sürgün ve kök rejenerasyonu için genellikle 16/8 saatlik bir fotoperiyot gereklidir. Mısır rejenerasyonu için ışık koşulları altında sürgün oluşumunun sıklığı ve hızı daha yüksektir (Li vd. 2002). Önceki bir araştırma, ışığın optimal sitokinin-oksın oranını koruyarak apikal meristem farklılaşmasını uyarabileceğini ve sürgün ve kök farklılaşması için düşük ışık yoğunluğunun ($\sim 30\text{--}60\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) tercih edilebilir olduğunu göstermiştir. Ayrıca, yakın zamanda yapılan bir çalışma, bitki morfogenezi için gerekli fotomorfojenik radyasyon seviyesini düzenleyebilen ışık yayan diyotların (LED'ler) geleneksel soğuk beyaz floresan lambaların yerine mükemmel bir alternatif olabileceğini göstermiştir. Ayrıca, LED'ler hücrel redoks dengesi ile ilişkilidir ve *in vitro* bitki rejenerasyonu sırasında antioksidatif metabolik faaliyetlerde rol oynar (Wei vd. 2020).

4. SONUÇ

Bitki doku kültürü ve bitki rejenerasyonu, çeşitli bilimsel ve endüstriyel alanları kapsayan bitki biyoteknolojisinin önemli unsurlarını oluşturmaktadır. Son yıllarda, *in vitro* bitki rejenerasyonunu kontrol eden temel mekanizmaların anlaşılmasında önemli ilerlemeler kaydedilmiş olup, bu süreci geliştirmek için özel ekipman ve stratejilerde de hızlı bir gelişme yaşanmıştır. Araştırmaların kapsamı ve bunun sonucunda elde edilen dikkate değer ilerlemelere rağmen, bitki rejenerasyonunu düzenleyen mekanizmaların daha fazla açıklığa kavuşturulması gerekmektedir.

Bitki rejenerasyonu *in vitro*, karmaşık bir gelişim sürecidir ve bu sürecin yalnızca bir kısmı şu anda anlaşılmış olup, kapsamlı ve bütünsel bir anlayış için ek çalışmalar gerektirmektedir. İlk olarak, bitki rejenerasyonunda rol oynayan düzenleyici ağ başlangıçta belirlenmiş olsa da bu aktörlerin ve sinyal moleküllerinin rejenerasyonun farklı aşamalarını nasıl koordine ettiği hala

belirsizdir. İkinci olarak, bitki rejenerasyonunun karmaşık gen düzenleme ağları tarafından düzenlendiğini ve dış çevresel uyarılardan etkilendiğini bilmemize rağmen, büyüme ve gelişmenin dinamik dengesini sağlamak için dış ve iç sinyaller arasındaki etkileşimin daha fazla araştırılması gerekmektedir. Özellikle, dış sinyallerin bitki iç düzenleyicilerini nasıl seçici olarak aktive ettiği belirsizdir. Bu nedenle, rejenerasyon mekanizmalarına ilişkin gelecekteki çalışmalar, dış çevresel faktörler ile iç sinyal ağları arasındaki etkileşimi araştırmalıdır.

Doku kültüründe, bitki rejenerasyonunu iyileştirmenin geleneksel yolu dış çevresel faktörleri değiştirmektir; bu nedenle, moleküler mekanizmaların anlaşılması ile geleneksel yöntemlerin birleştirilmesi, hedeflenen bitki rejenerasyonunu sağlamak için gelecekteki araştırmaların odak noktası olmalıdır. Üçüncü olarak ise, bitki rejenerasyonunu kontrol eden faktörler esas olarak *Arabidopsis*'te özetlenmiştir; ancak, diğer bitkilerin de aynı moleküler mekanizmaları sergileyip sergilemediği henüz doğrulanmamıştır. En önemli mahsullerin ve tıbbi bitkilerin hızlı mikroçoğaltılması ve genetik dönüşümü hala zordur; bu nedenle, bitki rejenerasyonu araştırmalarının gelecekteki gelişim yönü, verimli rejenerasyon sistemlerinin kurulmasına yardımcı olmak ve tarımsal biyoteknolojinin endüstrileşmesini teşvik etmek için bitki rejenerasyon mekanizmalarının teorik kavramlarının tarımsal uygulamalara uygulanmasını içerebilir. Bütünsel anlayışa dayalı bilgisayar modellemesi, bitki doku kültüründe umut verici bir araştırma yönü olabilir. Gelecekte, bir türe ait genotip, eksplant kaynakları ve istenilen rejenerasyon yolunu özelliklerini seçtiğimizde, bilgisayar kültür ortamı bileşimi ve bitki büyüme düzenleyici miktarı gibi ihtiyacımız olan kültür koşullarını otomatik olarak tasarlayabilir, ya da belirli bir tür için kullanılan genetik bilgileri ve çevresel koşullarına ait veriler bilgisayar ortamına eklendiğinde, tüm kültür sürecini ve beklenen sonuçları simüle edebilir. Bu durum, bitkisel üretim aşamasında bitki doku kültürü araştırma sürecini büyük ölçüde hızlandıracaktır.

KAYNAKÇA

- Abe, T., & Futsuhara, Y. (1986). Genotypic variability for callus formation and plant regeneration in rice (*Oryza sativa* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 72(1), 3-10.
- Akhtar, R., & Shahzad, A. (2019). Morphology and ontogeny of directly differentiating shoot buds and somatic embryos in *Santalum album* L. *Journal of Forestry Research*, 30(4), 1179-1189.
- Anonim. (2025). <https://worldbilgikutuphane.blogspot.com/2016/11/celikle-cogaltma.html>. Erişim Tarihi: 05.08.2025.
- Carvalho, C. H. S., Bohorova, N., Bordallo, P. N., Abreu, L. L., Valicente, F. H., Bressan, W., & Paiva, E. (1997). Type II callus production and plant regeneration in tropical maize genotypes. *Plant Cell Reports*, 17(1), 73-76.
- Chimdessa, E. (2020). Composition and preparation of plant tissue culture medium. *Journal of Tissue Culture and Bioengineering*, 3, 281-286.
- Collado, R., Veitia, N., Bermúdez-Caraballosa, I., García, L. R., Torres, D., Romero, C., ... & Angenon, G. (2013). Efficient *in vitro* plant regeneration via indirect organogenesis for different common bean cultivars. *Scientia Horticulturae*, 153, 109-116.
- Cortleven, A., Leuendorf, J. E., Frank, M., Pezzetta, D., Bolt, S., & Schmölling, T. (2019). Cytokinin action in response to abiotic and biotic stresses in plants. *Plant, Cell & Environment*, 42(3), 998-1018.
- Desai, P., Desai, S., Rafaliya, R., & Patil, G. (2022). Plant tissue culture: Somatic embryogenesis and organogenesis. In *Advances in plant tissue culture* (pp. 109-130). Academic Press.
- Duncan, D. R., Williams, M. E., Zehr, B. E., & Widholm, J. M. (1985). The production of callus capable of plant regeneration from immature embryos of numerous Zea mays genotypes. *Planta*, 165(3), 322-332.
- El-Sherif, N. A. (2018). Impact of plant tissue culture on agricultural sustainability. In *Sustainability of Agricultural Environment in Egypt: Part II: Soil-Water-Plant Nexus* (pp. 93-107). Cham: Springer International Publishing.
- Farshadfar, E., Jamshidi, B., Cheghamirza, K., & da Silva, J. T. (2012). Evaluation of drought tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using *in vivo* and *in vitro* techniques. *Annals of Biological Research*, 3(1), 465-476.

- Firoozabady, E., & Moy, Y. (2004). Regeneration of pineapple plants via somatic embryogenesis and organogenesis. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 40(1), 67-74.
- Gaion, L. A., Braz, L. T., & Carvalho, R. F. (2018). Grafting in vegetable crops: A great technique for agriculture. *International Journal of Vegetable Science*, 24(1), 85-102.
- Gaj, M. D. (2010). Somatic embryogenesis and plant regeneration in the culture of *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. immature zygotic embryos. In *Plant Embryo Culture: Methods And Protocols* (pp. 257-265). Totowa, NJ: Humana Press.
- Guo, Z., Zhao, W., Wang, H., & Zhai, J. (2025). Recent insights into the *in vitro* culture systems for mammalian embryos. *Current Opinion in Genetics & Development*, 91, 102309.
- Haberlandt, G. 1902. Culturversuche mit isolierten Pflanzenzellen. Sitz-Ber. Mat.-Nat.Kl. Kais. Akad. Wiss. *Wien*, 111(1): 69-92.
- Hodges, T. K., Kamo, K. K., Becwar, M. R., & Schroll, S. (2012). Regeneration of maize. *Zaitlin, M*, 15-33.
- Husain, M. K., Anis, M., & Shahzad, A. (2007). *In vitro* propagation of Indian Kino (*Pterocarpus marsupium* Roxb.) using thidiazuron. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 43(1), 59-64.
- Jiang, S., Chen, X., Gao, Y., Cui, Y., Kong, L., Zhao, J., & Zhang, J. (2021). Plant regeneration via somatic embryogenesis in *Larix principis-rupprechtii* Mayr. *Forests*, 12(10), 1335.
- Jiménez, V. M. (2001). Regulation of *in vitro* somatic embryogenesis with emphasis on to the role of endogenous hormones. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 13, 196-223.
- Jones, T., Lowe, K., Hoerster, G., Anand, A., Wu, E., Wang, N., ... & Gordon-Kamm, W. (2019). Maize transformation using the morphogenic genes Baby Boom and Wuschel2. In *Transgenic Plants: Methods and Protocols* (pp. 81-93). New York, NY: Springer New York.
- Koh, W. L., & Loh, C. S. (2000). Direct somatic embryogenesis, plant regeneration and *in vitro* flowering in rapid-cycling *Brassica napus*. *Plant Cell Reports*, 19(12), 1177-1183.
- Kumari, A., Baskaran, P., Plačková, L., Omámiková, H., Nisler, J., Doležal, K., & Van Staden, J. (2018). Plant growth regulator interactions in physiological processes for controlling plant regeneration and *in vitro* development of *Tulbaghia simmleri*. *Journal of Plant Physiology*, 223, 65-71.

- Kurmi, U. S., Sharma, D. K., Tripathi, M. K., Tiwari, R., Baghel, B. S., & Tiwari, S. (2011). Plant regeneration of *Vitis vinifera* (L) via direct and indirect organogenesis from cultured nodal segments. *Journal of Agricultural Technology*, 7(3), 721-737.
- Li, W., Masilamany, P., Kasha, K. J., & Pauls, K. P. (2002). Developmental, tissue culture, and genotypic factors affecting plant regeneration from shoot apical meristems of germinated *Zea mays* L. seedlings. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 38(3), 285-292.
- Long, Y., Yang, Y., Pan, G., & Shen, Y. (2022). New insights into tissue culture plant-regeneration mechanisms. *Frontiers in Plant Science*, 13, 926752.
- Loupit, G., Brocard, L., Ollat, N., & Cookson, S. J. (2023). Grafting in plants: recent discoveries and new applications. *Journal of Experimental Botany*, 74(8), 2433-2447.
- Lowe, K., La Rota, M., Hoerster, G., Hastings, C., Wang, N., Chamberlin, M., ... & Gordon-Kamm, W. (2018). Rapid genotype “independent” *Zea mays* L.(maize) transformation via direct somatic embryogenesis. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 54(3), 240-252.
- Malik, K., Birla, D., Yadav, H., Sainger, M., Chaudhary, D., & Jaiwal, P. K. (2017). Evaluation of carbon sources, gelling agents, growth hormones and additives for efficient callus induction and plant regeneration in Indian wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes using mature embryos. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 20(3), 185-192.
- Maurya, D., Pandey, A. K., Kumar, V., Dubey, S., & Prakash, V. (2019). Grafting techniques in vegetable crops: A review. *International Journal of Chemical Studies*, 7(2), 1664-1672.
- Mehbub, H., Akter, A., Akter, M. A., Mandal, M. S. H., Hoque, M. A., Tuleja, M., & Mehraj, H. (2022). Tissue culture in ornamentals: Cultivation factors, propagation techniques, and its application. *Plants*, 11(23), 3208.
- Meyer, R. S., DuVal, A. E., & Jensen, H. R. (2012). Patterns and processes in crop domestication: an historical review and quantitative analysis of 203 global Food Crops. *New Phytologist*, 196(1), 29-48.
- Minutolo, M., Chiaiese, P., Di Matteo, A., Errico, A., & Corrado, G. (2020). Accumulation of ascorbic acid in tomato cell culture: influence of the genotype, source explant and time of *in vitro* cultivation. *Antioxidants* 9, 222.
- Nameth, B., Dinka, S. J., Chatfield, S. P., Morris, A., English, J., Lewis, D., ... & Raizada, M. N. (2013). The shoot regeneration capacity of excised *Arabidopsis* cotyledons is established during the initial hours after injury

- and is modulated by a complex genetic network of light signalling. *Plant, Cell & Environment*, 36(1), 68-86.
- Niazian, M., Noori, S. A. S., Galuszka, P., Tohidfar, M., & Mortazavian, S. M. M. (2017). Genetic stability of regenerated plants via indirect somatic embryogenesis and indirect shoot regeneration of *Carum copticum* L. *Industrial Crops and Products*, 97, 330-337.
- Parveen, S., & Shahzad, A. (2014). Somatic embryogenesis and plantlet regeneration of *Cassia angustifolia* from immature cotyledon-derived callus. *Biologia plantarum*, 58(3), 411-418.
- Peeris, M. K. P., & Senarath, W. T. P. S. K. (2015). *In vitro* propagation of *Santalum album* L. *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka*, 43(3).
- Pinto, G., Santos, C., Neves, L., & Araújo, C. (2002). Somatic embryogenesis and plant regeneration in *Eucalyptus globulus* Labill. *Plant Cell Reports*, 21(3), 208-213.
- Rakshit, S., Rashid, Z., Sekhar, J. C., Fatma, T., & Dass, S. (2010). Callus induction and whole plant regeneration in elite Indian maize (*Zea mays* L.) inbreds. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 100(1), 31-37.
- Ramsay, J. L., Galitz, D. S., & Lee, C. W. (2003). Basal medium and sucrose concentration influence regeneration of Easter Lily in ovary culture. *HortScience*, 38(3), 404-406.
- Raza, G., Singh, M. B., & Bhalla, P. L. (2019). Somatic embryogenesis and plant regeneration from commercial soybean cultivars. *Plants*, 9(1), 38.
- Sai, N. K., Visarada, K. B. R. S., Lakshmi, Y. A., Pashupatinath, E., Rao, S. V., & Seetharama, N. (2006). *In vitro* culture methods in sorghum with shoot tip as the explant material. *Plant Cell Reports*, 25(3), 174-182.
- Satyavathi, V. V., Jauhar, P. P., Elias, E. M., & Rao, M. B. (2004). Effects of growth regulators on *in vitro* plant regeneration in durum wheat. *Crop Science*, 44(5), 1839-1846.
- Shah, S. H., Islam, S., Mohammad, F., & Siddiqui, M. H. (2023). Gibberellic acid: a versatile regulator of plant growth, development and stress responses. *Journal of Plant Growth Regulation*, 42(12), 7352-7373.
- Shin, J., Bae, S., & Seo, P. J. (2020). *De novo* shoot organogenesis during plant regeneration. *Journal of Experimental Botany*, 71(1), 63-72.
- Siddique, I., Bukhari, N. A. W., Perveen, K., & Siddiqui, I. (2015). Influence of plant growth regulators on *in vitro* shoot multiplication and plantlet

- formation in *Cassia angustifolia* Vahl. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 58, 686-691.
- Skoog, F., & Miller, C. (1957). Chemical regulation of growth and organ formation in plant tissues cultured. *Symposia of the Society for Experimental Biology*, 11, 118-130.
- Steward, F. C., Mapes, M. O., & Smith, J. (1958). Growth and organized development of cultured cells. I. Growth and division of freely suspended cells. *American Journal of Botany*, 693-703.
- Sundararajan, S., Sivaraman, B., Rajendran, V., & Ramalingam, S. (2017). Tissue culture and Agrobacterium-mediated genetic transformation studies in four commercially important indica rice cultivars. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 20(3), 175-183.
- Wang, W., Zhao, X., Zhuang, G., Wang, S., & Chen, F. (2008). Simple hormonal regulation of somatic embryogenesis and/or shoot organogenesis in caryopsis cultures of *Pogonatherum paniceum* (Poaceae). *Plant Cell, Tissue And Organ Culture*, 95(1), 57-67.
- Wei, X., Ding, Y., Wang, Y., Li, F., & Ge, X. (2020). Early low-fluence red light or darkness modulates the shoot regeneration capacity of excised Arabidopsis roots. *Plants*, 9(10), 1378.
- Wu, Q., Yang, H., Sun, Y., Hu, J., & Zou, L. (2021). Organogenesis and high-frequency plant regeneration in *Caryopteris terniflora* Maxim. using thidiazuron. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 57(1), 39-47.
- Zhang, B. H., Liu, F., & Yao, C. B. (2000). Plant regeneration via somatic embryogenesis in cotton. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 60(2), 89-94.
- Zhang, G., Zhai, N., Zhu, M., Zheng, K., Sang, Y., Li, X., & Xu, L. (2025). Cell wall remodeling during plant regeneration. *Journal of Integrative Plant Biology*, 67(4), 1060-1076.
- Zimny, J., & Michalski, K. (2019). Development of *in vitro* culture techniques for advancement of rye (*Secale cereale* L.) breeding. *Acta Biologica Cracoviensia s. Botanica*, 61(1).

BÖLÜM 3

BAZI İHLAMUR (*Tilia* sp.) TÜRLERİNDE FARKLI AŞILAMA YÖNTEMLERİNİN VE ZAMANININ AŞI TUTMA BAŞARISINA ETKİSİ

Orman Yük. Müh. Rabia PARMAKSIZOĞLU YAN¹
Doç. Dr. Şemsettin KULAÇ²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17728026>

¹ Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Düzce, Türkiye.
rabia_pa@hotmail.com, Orcid ID: 0009-0000-1383-2197

² Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Düzce, Türkiye.
semsettinkulac@duzce.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-8398-3246

1. GİRİŞ

Aşılama, bitki üretiminde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu işlemde, belirli bir çeşitten alınan bir göz veya kalem adı verilen dal parçası, başka bir bitkinin anaç (altlık) olarak adlandırılan kısmına yerleştirilir. Bu yöntemle gerçekleştirilen çoğaltma işlemi aşılama yöntemi olarak adlandırılır. Aşılar kullanılan kısımlara bağlı olarak kalem ve göz olarak iki gruba ayrılır. Ayrıca, aşılamanın yapıldığı zamanlamaya göre durgun ve sürgün aşılar olarak sınıflandırılabilir (Genç 2020; Ellialtıoğlu 2023).

Aşılama yöntemi, bitki yetiştiriciliğinde pek çok avantaj sağlar. Öncelikle, aşılama ile istenen çeşitlerin özellikleri ve hastalıklara karşı dayanıklılıkları korunabilir veya geliştirilebilir. Ayrıca, aşı ile çoğaltılan bitkiler genetik olarak aynı özelliklere sahip olacağından, istenilen kalitede bitkiler yetiştirmek ve çeşitlilik elde etmek mümkün olur (Genç 2020; Ellialtıoğlu 2023).

Aşılama yöntemi, bitki üretiminde verimli sonuçlar elde etmek için kullanılan etkili bir yöntemdir. Uygun kısımların doğru zamanda birleştirilmesiyle, sağlıklı bitkiler yetiştirilebilir ve istenen özelliklere sahip bitkiler elde edilebilir (Serdar, 2000). Aşılama genel olarak; hastalık veya zararlı kontrolü, verim ve kalite artışı, mevsim uyumsuzluğunu aşma, yeni çeşit geliştirme, hızlı çoğaltma amaçları doğrultusunda aşılama yöntemi, bitki yetiştiriciliğinde yaygın olarak kullanılan bir tekniktir ve birçok avantaj sağlar (Genç 2020; Ellialtıoğlu 2023).

Bu çalışmada *Tilia tomentosa* anacının üzerine *T. tomentosa*, *T. henryana*, *T. cordata*, *T. platyphyllos* türlerine ait kalemler üç farklı zamanda (mart, nisan ve mayıs) dört farklı aşı yöntemi (yarma, yandan yanaştırma, yongalı göz ve dılcıklı) kullanılarak aşılanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda en uygun aşı zamanının ve aşı yönteminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapılan bu çalışma ile ıhlamurun hem odun özelliği hem de odun dışı orman ürünü bakımından önemli değere sahip olmasından dolayı ıhlamur fidanının daha kolay ve hızlı üretimi sağlanarak ekonomik, ekolojik ve sürdürülebilirlik bakımından verimi artırılması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. ıhlamur Anaçlarının Elde Edilmesi

Çalışma kapsamında kullanılan anaçlar Sakarya-Hendek Orman

Fidanlığından vejetasyon başlamadan (Aralık) önce tüplü fidan olarak temin edilen fidanlar Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Araştırma Serasına getirilmiştir. Daha sonra fidanlar aynı yetiştirme ortamına sahip olmaları için 1:1:1 oranında torf, orman toprağı ve perlit karışımından oluşan yeni polietilen torbalara repikajı yapılmıştır. Toprak içeriğinin hazırlanmasında ıhlamurun ekolojik istekleri dikkate alınmıştır (Ürgeç 2001; Langenbruch vd. 2012). Toprak karışımında humus olarak torf kullanılmış ve toprak serinliğini arttırmak içinde perlit kullanılmıştır. ıhlamur yetiştirilmesi için uygun toprak hazırlığı yapıldıktan sonra fidanların tüpleri çıkartılarak mevcut toprakları temizlenmiş ve kök yıkaması gerçekleştirilmiştir. Toprak temizliği ve kök yıkaması yapılan fidanlar hızlı bir şekilde yeni hazırlanan toprak karışımı kullanılarak 25*35 cm boyutundaki polietilen tüplere dikimi gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Tüpleme işlemi yapılan fidanlar yeni yetiştirme ortamına uyum sağlaması için araştırma serası içerisine yerleştirilmiştir.



Şekil 1. ıhlamur anaçlarının hazırlanması.

2.2. Aşı Kalemlerinin Elde Edilmesi

Çalışma kapsamında üçü yerli (*T. tomentosa*, *T. cordata*, *T. platyphyllos*) ve bir tanesi yabancı (*T. henryana*) olmak üzere toplam dört farklı ıhlamur türü kullanılmıştır. Tüm türlere ait aşı kalemleri Düzce Üniversitesi kampüsünde ve

araştırma serasında bulunan 8-13 yaşındaki ağaçların son yıllık sürgünlerinden temin edilmiştir. Her tür için en az üç ağaçtan kalem alınmıştır (Şekil 2).

Çalışmada kullanılan türlere ait ağaçların son yıllık sürgünlerinden vejetasyon başlamadan (Şubat ayında) önce alınmıştır. Kalemlerin nemini koruması için ıslak telis çuval ile kaplanmış ve laboratuvara getirilmiştir. En az iki veya üç göz bulunduran aşı kalemleri hazırlanarak hava almayacak sürgülü poşetler içerisine konulmuştur. Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi soğuk hava deposunda kalemlerin gözlerinin uyunmaması veya soğuktan zarar görmemesi için +4 °C’de aşı zamanına kadar bekletilmiştir.



Şekil 2. Aşı kalemlerinin temini ve saklanması.

2.3. Metot

Çalışmada iki yaşındaki *T. tomentosa* fidanları anaç olarak kullanılmıştır. Çalışmada 4 farklı ıhlamur türü (*T. tomentosa*, *T. cordata*, *T. platyphyllos*, *T. henryana*), 4 farklı (yarma, yandan yanaştırma, yongalı göz ve dilcikli) aşı yöntemi kullanılarak 3 farklı zamanda (mart, nisan ve mayıs) *T. tomentosa* fidanlarının üzerine aşılanmıştır (Şekil 3). Çalışma kapsamında farklı türlerin zamana ve aşı türüne bağlı olarak tutma başarısı belirlenmiştir.

Her bir tür için; 4 aşı yöntemi * 3 farklı zaman * 3 tekrar * 10 fidan şeklinde toplam 360 fidan kullanılmıştır. Toplamda dört farklı tür için 1440 adet fidan aşılanmıştır. Aşılama işlemi tamamlandıktan sonra fidanlar deneme desenine göre parsellere yerleştirilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Aşı sonrası aşıların parsellere yerleştirilmesi.

2.4. İstatistiki Analizler

Çalışma sonucunda her bir uygulama için tutma başarısı belirlenmiş, elde edilen veriler, SPSS 22.0 paket programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Verilere varyans analizi uygulanmıştır. Varyans analizi, her bir karakterin uygulama ve tür bazında değişimlerini ayrı ayrı değerlendirmek için kullanılmıştır. Varyans analizi sonucunda, istatistiksel olarak en az %95 güven düzeyinde anlamlı farklılıklar bulunan değerlere Duncan testi uygulanarak homojen gruplar belirlenmiştir. Elde edilen veriler sadeleştirilerek tablolara aktarılmış ve yorumlanmıştır.

3. BULGULAR

3.1. *Tilia platyphyllos*'un Aşı Yöntemine ve Zamanına Bağlı Tutma Başarısı

Çalışma kapsamında *T. platyphyllos* türüne ait kalemlerin üç farklı zamanda ve dört farklı yöntem kullanılarak *T. tomentosa* türüne ait fidanlar üzerine yapılan aşıların aşı yöntemine bağlı olarak her ay için değişimini

gösteren varyans analizi ve Duncan testi sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. *T. platyphyllos* türünün aşı yöntemine bağlı olarak her ay için değişimini gösteren varyans analizi ve Duncan testi.

Yöntem	Mart	Nisan	Mayıs
Yarma	100 b	100 b	90,00 b
Yandan Yanaştırma	100 b	100 b	96,67 b
Yongalı Göz	73,33 a	53,33 a	43,33 a
Dilcikli	100 b	100 b	96,67 b
F değeri	64,000	196,000	79,556
P değeri	0,000	0,000	0,000

*Dikeyde yer alan aynı harfler arasında istatistiki olarak fark yoktur ($P>0.05$). - Ortalamalar arasında istatistiki farklılık bulunmadığında F değeri hesaplanamamıştır.

Varyans analizi sonuçlarına göre aşı tutma başarısının tüm aylarda aşı yöntemine bağlı değişimlerinin istatistiki olarak en az %99 güven düzeyinde anlamlı olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre tüm aylarda en düşük aşı başarısı yongalı göz aşısında elde edilirken diğer yöntemler arasında ay bazında incelendiğinde istatistiki olarak aynı grupta yer almaktadır. Çalışma kapsamında *T. platyphyllos* türüne ait kalemlerin üç farklı zamanda ve dört farklı yöntem kullanılarak *T. tomentosa* türüne ait fidanlar üzerine yapılan aşılarda aşı yöntemine bağlı olarak aylık değişimini gösteren varyans analizi ve Duncan testi sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. *T. platyphyllos* türünün aşı yöntemine bağlı olarak aylık değişimini gösteren varyans analizi ve Duncan testi

Yöntem	Mart	Nisan	Mayıs	F değeri	P değeri
Yarma	100	100	90,00	-	-
Yandan Yanaştırma	100	100	96,67	1,000	0,422
Yongalı Göz	73,33 b	53,33 a	43,33 a	21,000	0,002
Dilcikli	100 a	100 a	96,67 a	1,000	0,422

* Yatayda yer alan aynı harfler arasında istatistiki olarak fark yoktur ($P>0.05$). - Ortalamalar arasında istatistiki farklılık bulunmadığında F değeri hesaplanamamıştır.

Varyans analizi sonuçlarına göre aşı tutma başarısının, aşı yöntemine bağlı olarak aylık değişiminin sadece yongalı göz aşı yönteminde istatistiki olarak en az %95 güven düzeyinde anlamlı olduğu belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre yongalı göz aşısında en düşük tutma başarısı mayıs ve nisan ayında elde edilirken en yüksek başarı ise mart ayında elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre tüm aşı yöntemlerinde en düşük aşı başarısı yongalı göz aşısında mayıs ayında edilirken diğer yöntemlerde ise ay bazında değişimi incelendiğinde istatistiki olarak anlamlı fark bulunmamaktadır.

3.2. *Tilia cordata*'nın Aşı Yöntemine ve Zamanına Bağlı Tutma Başarısı

Çalışma kapsamında *T. cordata* türüne ait kalemlerin üç farklı zamanda ve dört farklı yöntemi kullanılarak *T. tomentosa* türüne ait fidanlar üzerine yapılan aşılardan aşı yöntemine bağlı olarak her ay için değişimini gösteren varyans analizi ve Duncan testi sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. *T. cordata* türünün aşı yöntemine bağlı olarak her ay için değişimini gösteren varyans analizi ve Duncan testi.

Yöntem	Mart	Nisan	Mayıs
Yarma	100 b	100	100 b
Yandan Yanaştırma	100 b	100	93,33 b
Yongalı Göz	83,33 a	90	63,33 a
Dilcikli	100 b	100	96,67 b
F değeri	25,000	-	34,222
P değeri	0,000	-	0,000

*Dikeyde yer alan aynı harfler arasında istatistiki olarak fark yoktur ($P>0.05$). - Ortalamalar arasında istatistiki farklılık bulunmadığında F değeri hesaplanamamıştır.

Varyans analizi sonuçlarına göre aşı tutma başarısının mart ve mayıs aylarında aşı yöntemine bağlı değişimlerinin istatistiki olarak en az %99 güven düzeyinde anlamlı olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre tüm aylarda en düşük aşı başarısı yongalı göz aşısında elde edilirken diğer yöntemler arasında ay bazında incelendiğinde istatistiki olarak aynı grupta yer almaktadır.

Çalışma kapsamında *T. cordata* türüne ait kalemlerin üç farklı zamanda ve dört farklı yöntem kullanılarak *T. tomentosa* türüne ait fidanlar üzerine

yapılan aşların aşı yöntemine bağlı olarak aylık değişimini gösteren varyans analizi ve Duncan testi sonuçları Çizelge 4’te verilmiştir.

Çizelge 4. *T. cordata* türünün aşı yöntemine bağlı olarak aylık değişimini gösteren varyans analizi ve Duncan testi

Yöntem	Mart	Nisan	Mayıs	F değeri	P değeri
Yarma	100	100	100	-	-
Yandan Yanaştırma	100 a	100 a	93,33 a	4,000	0,079
Yongalı Göz	83,33 b	90 b	63,33 a	26,000	0,001
Dilcikli	100 a	100 a	96,67 a	1,000	0,422

* Yatayda yer alan aynı harfler arasında istatistiki olarak fark yoktur ($P>0.05$). - Ortalamalar arasında istatistiki farklılık bulunmadığında F değeri hesaplanamamıştır.

Varyans analizi sonuçlarına göre aşı tutma başarısının, aşı yöntemine bağlı olarak aylık değişiminin sadece yongalı göz aşı yönteminde istatistiki olarak en az %95 güven düzeyinde anlamlı olduğu belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre yongalı göz aşısında en düşük tutma başarısı mayıs ayında elde edilirken en yüksek başarı ise nisan ve mart aylarında elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre tüm aşı yöntemlerinde en düşük aşı başarısı yongalı göz aşısında mayıs ayında edilirken diğer yöntemlerde ise ay bazında değişimi incelendiğinde istatistiki olarak anlamlı düzeyde fark bulunmamaktadır.

3.3. *Tilia tomentosa*’nın Aşı Yöntemine ve Zamanına Bağlı Tutma Başarısı

Çalışma kapsamında *T. tomentosa* türüne ait kalemlerin üç farklı zamanda ve dört farklı yöntemi kullanılarak *T. tomentosa* türüne ait fidanlar üzerine yapılan aşların aşı yöntemine bağlı olarak her ay için değişimini gösteren varyans analizi ve Duncan testi sonuçları Çizelge 5’de verilmiştir.

Çizelge 5. *T. tomentosa* türünün aşı yöntemine bağlı olarak her ay için değişimini gösteren varyans analizi ve Duncan testi.

Yöntem	Mart	Nisan	Mayıs
Yarma	100 b	100 a	100 b
Yandan Yanaştırma	100 b	100 a	93,33 b
Yongalı Göz	83,33 a	90 a	63,33 a
Dilcikli	100 b	100 a	96,67 b
F değeri	25,000	-	34,222
P değeri	0,000	-	0,000

*Dikeyde yer alan aynı harfler arasında istatistiki olarak fark yoktur ($P>0.05$). - Ortalamalar arasında istatistiki farklılık bulunmadığında F değeri hesaplanamamıştır.

Varyans analizi sonuçlarına göre aşı tutma başarısının mart ve mayıs aylarında aşı yöntemine bağlı değişimlerini istatistiki olarak en az %99 güven düzeyinde anlamlı olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre tüm aylarda en düşük aşı başarısı yongalı göz aşısında elde edilirken diğer yöntemler arasında ay bazında incelendiğinde istatistiki olarak aynı grupta yer almaktadır.

Çalışma kapsamında *T. tomentosa* türüne ait kalemlerin üç farklı zamanda ve dört farklı yöntem kullanılarak *T. tomentosa* türüne ait fidanlar üzerine yapılan aşılarda aşı yöntemine bağlı olarak aylık değişimini gösteren varyans analizi ve Duncan testi sonuçları Çizelge 6’da verilmiştir.

Çizelge 6. *T. tomentosa* türünün aşı yöntemine bağlı olarak aylık değişimini gösteren varyans analizi ve Duncan testi.

Yöntem	Mart	Nisan	Mayıs	F değeri	P değeri
Yarma	100	100	100	-	-
Yandan Yanaştırma	100 a	100 a	93,33 a	4,000	0,079
Yongalı Göz	83,33 b	90 b	63,33 a	26,000	0,001
Dilcikli	100 a	100 a	96,67 a	1,000	0,422

*Yatayda yer alan aynı harfler arasında istatistiki olarak fark yoktur ($P>0.05$). - Ortalamalar arasında istatistiki farklılık bulunmadığında F değeri hesaplanamamıştır.

Varyans analizi sonuçlarına göre aşı tutma başarısının, aşı yöntemine bağlı olarak aylık değişiminin sadece yongalı göz aşı yönteminde istatistiki olarak en az %95 güven düzeyinde anlamlı olduğu belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre yongalı göz aşısında en düşük tutma başarısı mayıs ayında elde edilirken en yüksek başarı ise nisan ve mart aylarında elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre tüm aşı yöntemlerinde en düşük aşı başarısı yongalı göz aşısında mayıs ayında edilirken diğer yöntemlerde ise ay bazında değişimi incelendiğinde istatistiki olarak anlamlı düzeyde fark bulunmamaktadır.

3.4. *Tilia henryana*'nın Aşı Yöntemine ve Zamanına Bağlı Tutma Başarısı

Çalışma kapsamında *T. henryana* türüne ait kalemlerin üç farklı zamanda ve dört farklı yöntemi kullanılarak *T. tomentosa* türüne ait fidanlar üzerine yapılan aşılardan aşı yöntemine bağlı olarak her ay için değişimini gösteren varyans analizi ve Duncan testi sonuçları Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7. *T. henryana* türünün aşı yöntemine bağlı olarak her ay için değişimini gösteren varyans analizi ve Duncan testi.

Yöntem	Mart	Nisan	Mayıs
Yarma	90 b	96,67 b	80 b
Yandan Yanaştırma	95 b	95 b	76,67 b
Yongalı Göz	53,33 a	50 a	43,33 a
Dilcikli	90 b	90 b	76,67 b
F değeri	28,263	44,063	35,889
P değeri	0,000	0,00	0,000

*Dikeyde yer alan aynı harfler arasında istatistiki olarak fark yoktur ($P>0.05$). - Ortalamalar arasında istatistiki farklılık bulunmadığında F değeri hesaplanamamıştır.

Varyans analizi sonuçlarına göre aşı tutma başarısının tüm aylarda aşı yöntemine bağlı değişimlerini istatistiki olarak en az %99 güven düzeyinde anlamlı olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre tüm aylarda en düşük aşı başarısı yongalı göz aşısında elde edilirken, tüm aylarda yongalı göz aşısı dışındaki yöntemler istatistiki olarak aynı grupta yer almaktadır.

Çalışma kapsamında *T. henryana* türüne ait kalemlerin üç farklı zamanda ve dört farklı yöntem kullanılarak *T. tomentosa* türüne ait fidanlar üzerine

yapılan aşların aşı yöntemine bağlı olarak aylık değişimini gösteren varyans analizi ve Duncan testi sonuçları Çizelge 8’de verilmiştir.

Çizelge 8. *T. henryana* türünün aşı yöntemine bağlı olarak aylık değişimini gösteren varyans analizi ve Duncan testi.

Yöntem	Mart	Nisan	Mayıs	F değeri	P değeri
Yarma	90 b	96,67 c	80 a	19,000	0.003
Yandan Yanaştırma	95 b	95 b	76,67 a	17,286	0,003
Yongalı Göz	53,33 a	50 a	43,33 a	3,500	0,098
Dilcikli	90 a	90 a	76,67 a	2,286	0,183

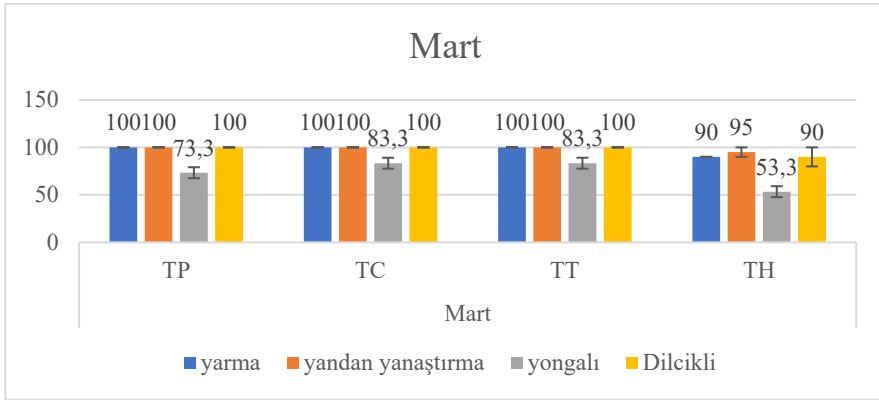
*Yatayda yer alan aynı harfler arasında istatistiki olarak fark yoktur ($P>0.05$). - Ortalamalar arasında istatistiki farklılık bulunmadığında F değeri hesaplanamamıştır.

Varyans analizi sonuçlarına göre aşı tutma başarısının, aşı yöntemine bağlı olarak aylık değişiminin yarma ve yandan yanaştırma aşı yöntemlerinde istatistiki olarak en az %95 güven düzeyinde anlamlı olduğu belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre en düşük tutma başarısı yarma ve yandan yanaştırma aşlarında mayıs ayında elde edilirken yarma aşısında en yüksek tutma başarısı nisan ayında, yandan yanaştırma aşısında ise mart ve nisan ayında elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre tüm aşı yöntemlerinde en düşük aşı başarısı yongalı göz aşısında mayıs ayında edilirken en yüksek aşı başarısı ise yarma aşıda nisan ayında elde edilmiştir.

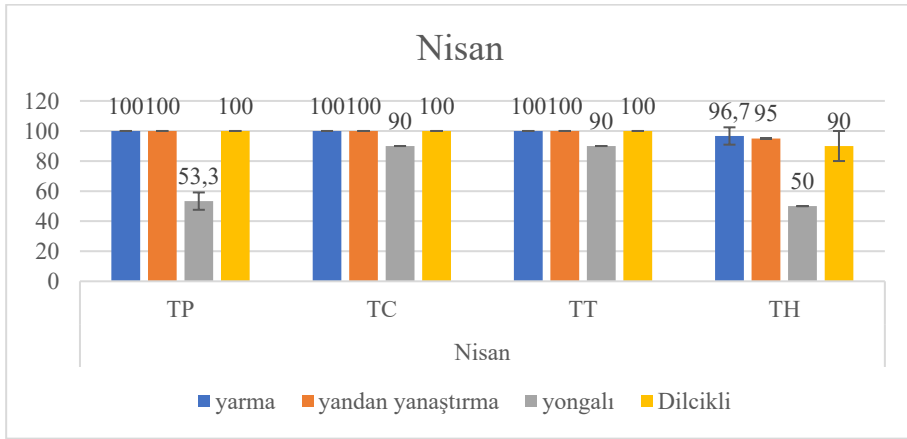
3.5. Türlerde Aşı Tutma Başarısının Aşı Yöntemine ve Aşı Zamanına Bağlı Değişimi

Ortalama değerlere göre mart ayında yapılan tüm aşı yöntemlerinin ve tür bazında aşı tutma başarısı Şekil 4’de verilmiştir. Şekil 4’de görüldüğü gibi en düşük tutma başarısı *T. henryana* türünde elde edilirken en yüksek başarı *T. cordata* ve *T. tomentosa* türlerinde elde edilmiştir. Tüm türlerde aşı yöntemleri arasında ise en düşük tutma başarısı mart ayı için yongalı göz aşısında elde edilmiştir. Diğer üç aşı yönteminin tüm türlerde yakın tutma başarısına sahip olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4. Mart ayında yapılan aşılarda tutma başarıları.

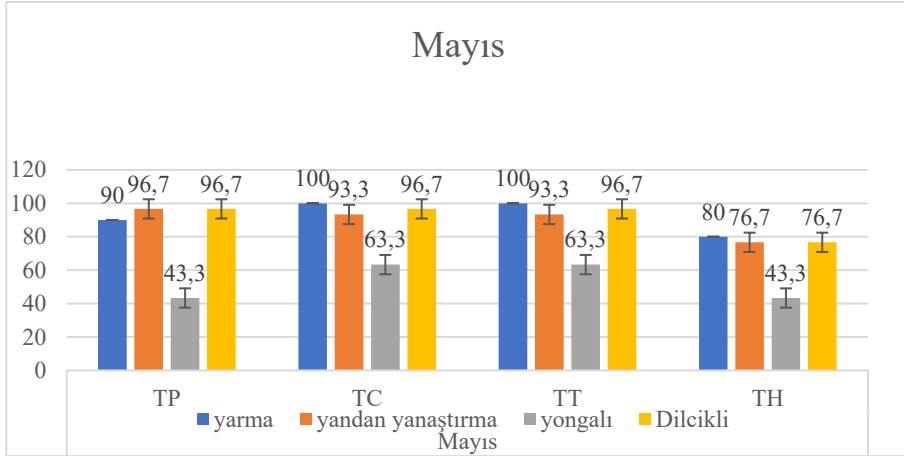
Ortalama değerlere göre nisan ayında yapılan tüm aşı yöntemlerinin ve tür bazlı aşı tutma başarıları Şekil 5’de verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi en düşük tutma başarıları *T. henryana* ve *T. platyphyllos* türünde yongalı göz aşısında elde edilirken diğer üç aşı yönteminin tüm türlerde yakın tutma başarıları ile en yüksek tutma başarısına sahip olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5. Nisan ayında yapılan aşılarda tutma başarıları.

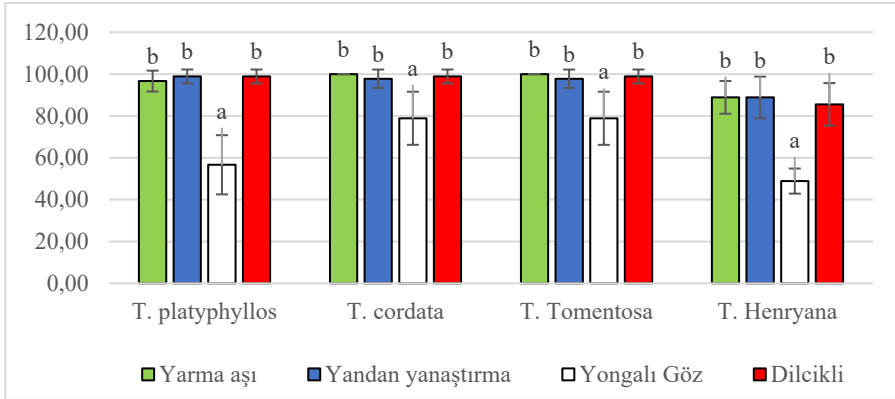
Ortalama değerlere göre mayıs ayında yapılan tüm aşı yöntemlerinin ve tür bazlı aşı tutma başarıları Şekil 6’da verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi en düşük tutma başarıları *T. henryana* ve *T. platyphyllos* türünde yongalı göz aşısında elde edilirken tür bazında incelendiğinde tüm aşı yöntemlerine göre en düşük tutma başarıları *T. henryana* türünde elde edilmiştir. *T. platyphyllos*, *T. cordata* ve *T. tomentosa* türlerinde yongalı göz aşısı dışındaki tüm aşı

yöntemlerinin yakın tutma başarısı ile en yüksek tutma başarısına sahip olduğu belirlenmiştir.



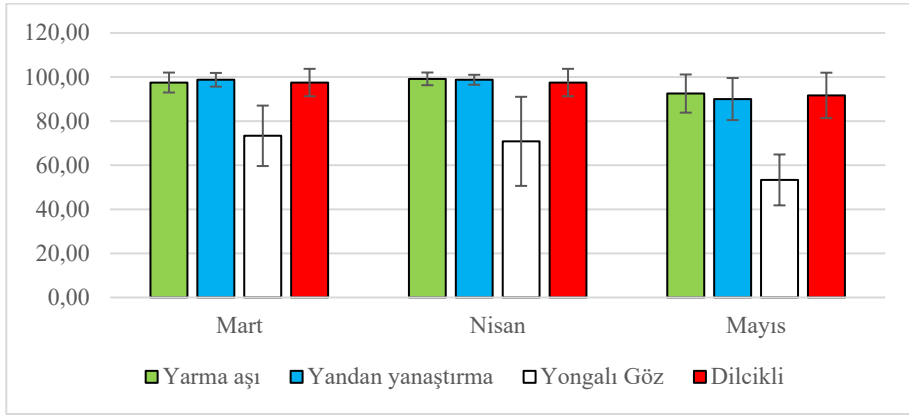
Şekil 6. Mayıs ayında yapılan aşıların tutma başarısı.

Tüm ayların ortalamasına göre *T. platyphyllos*, *T. cordata*, *T. tomentosa* türlerinin kalemleri yongalı göz aşı yöntemi dışındaki aşı yöntemlerinde %96'nın üzerinde tutma başarısı sağlandığı görülmektedir. Türler arasında en düşük tutma başarı oranı *T. henryana* türünde görülmüştür. (Şekil 7).



Şekil 7. Aşı yöntemine göre tutma başarıları.

Kalem alınan tür ayrımı yapmaksızın, yongalı göz aşı yöntemi dışındaki yöntemlerde oldukça yüksek aşılama başarısı mart ve nisan aylarında elde edilmiştir (Şekil 8). Mayıs ayında yandan yanaştırma ve yongalı göz aşılarında diğer aylara göre tutma başarısının düştüğü gözlenmektedir.



Şekil 8. Aylara göre tutma başarısı.

Ortalama değerlere göre *T. platyphyllos* türünde en düşük tutma başarısı mart ayında (%73,3), nisan ayında (%53,3) ve mayıs ayında (%43,3) yongalı göz aşısında elde edilmiştir. *T. cordata* türünde en düşük tutma başarısı mart ayında (%83,3) elde edilirken nisan ayında (%90) ve mayıs ayında (%63,3) yongalı göz aşısında elde edilmiştir. *T. tomentosa* türünde en düşük tutma başarısı mart ayında (%83,3), nisan ayında (%90) ve mayıs ayında (%63,3) yongalı göz aşısında elde edilmiştir. *T. henryana* türünde ise en düşük tutma başarısı mart ayında (%53,3), nisan ayında (%50) ve mayıs ayında (%43,3) yongalı göz aşısında elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre tüm türler ay bazında incelendiğinde en düşük aşı başarısı yongalı göz aşısında elde edilirken diğer aşı yöntemleri istatistiki olarak aynı grupta yer almaktadır.

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Dünyamız, son iki yüzyılda iklim değişikliği, hava kirliliği, sel ve depremler gibi birçok sorun ile karşı karşıya kalmıştır. Özellikle iklim değişikliğinin sonuçları, yerel ve küresel ölçekte birçok soruna neden olmaktadır (Cantürk ve Kulaç 2021; Koç 2021a, b; Koç 2022a). Birincisi, değişen iklim dünya çapında küresel ısınmaya neden olduğu için kozalaklı (Koç ve Nzokou 2022; Cantürk vd. 2024; Ertürk vd. 2024a) ve geniş yapraklı (Varol vd. 2022; Koç 2022b; Ertürk vd. 2024b) bitki türlerinde kuraklık stresine neden olmaktadır. İkincisi, bitkiler üzerinde birçok yan etkisi olan hava kirliliğine bağlı ağır metal kirliliği gibi bir başka faktörü meydana getirmektedir (Cebi Kilicoglu 2024a, b; Isinkaralar vd. 2025a, b). Tüm bu çevresel faktörler bitki büyümesini, gelişimini ve fizyolojisini olumsuz etkilemektedir (Koç 2019). Bu

olumsuz çevre koşullarına adaptasyon ve uyumu için dayanıklı türler üzerine ekolojik ve ekonomik türlerin aşılınarak veya çelikle üretimi gerçekleştirilerek üstesinden gelinebileceği düşünülmektedir.

Ülkemizde ve dünyada aşı tutma başarısını artırmak için birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. (Tokar ve Kovalovsky 1971; Serdar 2000; Özgöngün vd. 2004; Ertan vd. 2014). Yapılan literatür taraması sonucunda ülkemizde ve dünyada ıhlamur üzerine aşı çalışmasına yönelik sınırlı sayıda çalışma bulunduğu belirlenmiştir. Oysa bu türler hem doğal populasyonlarının sınırlı yayılış alanına sahip olması, hem de kentsel alanlarda en duyarlı türlerden olmaları sebebiyle küresel iklim değişikliğine bağlı olarak oluşan çevresel faktörlerden en fazla etkilenecek türlerdendir. (Zhang vd. 2019; Gillner vd. 2013). Bundan dolayı çevresel faktörlere dayanıklı özelliklere sahip fidanların kitlesel ve hızlı üretimi bu sorunların üstesinden gelmek için önemli bir yöntem olacaktır.

Yapılan birçok çalışmada aşı yönteminin ve aşı zamanının aşı tutma başarısını önemli derecede etkilediği ortaya koyulmuştur. Özellikle yapılan çalışmalar türün hangi zaman diliminde ve hangi aşı yöntemi ile daha yüksek aşı tutma başarısına sahip olacağı üzerine yoğunlaşmıştır (Dudu Aslan 2019; Uyanık vd. 2022). Bu çalışma da benzer kurgu ile yapılmış olup fakat daha önceki çalışmalardan farklı olarak birden çok ıhlamur türünün bir ıhlamur türü üzerine aşı başarısı incelenmiştir. Çalışmada *Tilia cordata* anacının üzerine *T. tomentosa*, *T. henryana*, *T. cordata*, *T. platyphyllos* türlerine ait kalemler üç farklı zamanda (Mart, Nisan ve Mayıs) dört farklı aşı yöntemi (yarma, yandan yanaştırma, yongalı göz ve diltikli) kullanılarak aşılanmıştır. Elde edilen sonuçlar bütün türlerde uygun yöntem ve zamanında aşılama ile %100'e yakın başarı elde edilebileceğini göstermektedir. Tüm türlerde yongalı göz aşısı dışındaki tüm yöntemlerde yüksek tutma başarısına sahip olduğu belirlenmiştir. *Tilia tomentosa* Moench, yarma kalem aşısının yongalı göz aşısından yaklaşık olarak iki kat daha fazla olduğu, nisan ayında yapılan yarma aşılarının tutma başarısının mart ayına oranla %25 daha düşük olduğu, başka araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda da belirlenmiştir (Turna vd. 2020). Koyuncu ve Ersoy, (2011) 'Galaxy Gala', 'Pink Lady', 'Fuji', 'Golden Reinders' ve 'Summer Red' çeşitlerinin M9 anaç üzerine yongalı göz ve diltiksiz aşı metodlarıyla iç ve dış mekanlarda aşılama sonuçlarına göre, sera içinde yapılan diltiksiz aşının yongalı göz aşısına göre daha başarılı olduğunu belirlemişlerdir.

Kivide (*Actinidia deliciosa*, A. Chev) aşı zamanı ve yöntemlerinin aşı başarısı ve fidan gelişimi üzerindeki etkilerinin incelendiği araştırmada, dört farklı aşı zamanında (erken, orta, geç ilkbahar ve yaz ayları) diltikli ve diltiksiz kalem ile yongalı göz aşı yöntemleri uygulanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre diltikli ve diltiksiz kalem aşı yöntemlerinin yongalı göz aşı yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar verdiği bulunmuştur (Öztürk ve Yazıcıoğlu 2015). *Castanea sativa* Mill. anacı üzerine iki kestane çeşidine ait kalemler sera ortamında ve açık alanda 4 farklı aşı yöntemi kullanılarak altı farklı zamanda aşıl原因an çalışmada sera ortamında yapılan aşıl原因ların açık alana göre iki kat daha başarılı olduğunu ve aşı yöntemleri arasında diltikli aşının tüm aylarda (temmuz hariç) en başarılı olduğu, sadece temmuz ayında göz aşısının en başarılı olduğu belirlenmiştir (Uyanık vd. 2022). *C. sativa* Mill. üzerine 4 farklı aşı yöntemi kullanılarak yapılan çalışmada en başarılı yöntemin yandan yanaştırma aşı olduğu belirlenirken en düşük başarının yongalı göz aşısında olduğu belirlenmiştir (Kulaç ve Nayir 2021). Düzce Kaplandığı kestanesi popülasyonuna en başarılı aşıl原因a yöntemi ve en iyi adapte olan kestane çeşitlerinin belirlenmeye çalışıldığı çalışmada en başarılı aşıl原因a yöntemleri yarma ve diltikli aşı olarak belirlenmiştir (Kulaç ve Özkuru 2021).

5. ÖNERİLER

Bitkilerde aşıl原因a; bitki hastalıkları ve zararlılarıyla mücadele etmek, verimliliği artırmak, istenen özelliklerin aktarımını sağlamak ve bitki materyali üretimini kolaylaştırmak için önemli bir araçtır. Bu yöntem, bitki yetiştiricilerinin sağlıklı bitkiler yetiştirmesine ve daha iyi ürünler elde etmesine yardımcı olurken, tarım sektöründe sürdürülebilirlik ve verimlilik açısından da önemli bir rol oynamaktadır.

Türkiye'nin zengin biyolojik çeşitliliği içerisinde yer alan ıhlamur ağaçları, odun dışı orman ürünlerimiz arasında önemli bir yere sahiptir. Doğal yaşam alanlarında meydana gelen iklim değişikliğinden kaynaklanan olumsuz çevresel koşulları, bilinçsiz kullanımı ve tahrip edici uygulamalar, ıhlamur ormanlarının doğal yapısında bozulmalara yol açmıştır. Tohumlarındaki çimlenme engelleri, aşırı yoğun kullanımı ve olumsuz çevresel koşullara uyum sağlayamamasından dolayı ıhlamur ormanları kendini yenileyememektedir ve sonuç olarak yetersiz ve kalitesiz ürün elde edilmektedir.

Bundan dolayı ıhlamur ormanlarının üretim potansiyelini artırmak için ekolojilerine uygun alanlar bulunarak plantasyon sahaları kurulmalı ve bu ekonomik ve ekolojik değerin ülkeye kazandırılması sağlanmalıdır. Ayrıca, Orman Genel Müdürlüğü tarafından daha detaylı ıhlamur eylem planı hazırlanmalı ve bu plan dikkatli bir şekilde uygulanmalıdır. Çalışmamız boyunca en iyi ve kaliteli ıhlamur fidanları üretiminin aşılama yöntemiyle üretiminin araştırılması ve en uygun aşılama zamanı ve aşı yönteminin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında ülkemizde en geniş coğrafi yayılışa sahip *T. tomentosa* ya ait 4+0 yaşındaki fidanlarının üzerine *T. tomentosa*, *T. cordata*, *T. platyphyllos* ve *T. henryana*'ya ait fidanlardan alınan kalemler mart, nisan, ve mayıs aylarında 4 farklı aşı yöntemi kullanılarak aşılanmıştır. Çalışma sonunda aşı tutma başarıları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlarda ıhlamurda diltikli, yandan yanaştırma ve yarma aşı yöntemlerinin çalışma kapsamındaki tüm aylarda yüksek başarıya sahip olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar *T. cordata* türü ile diğer türlerinin kullanılan aşı yöntemleri ve aşılama zamanlarında aşı uyumunun yüksek olduğunu göstermektedir. Bundan sonraki çalışmalarda anaç olarak farklı ıhlamur türleri ve farklı aşılama zamanları kullanılarak ekolojik ekonomik ve estetik değeri olan bu türlerin aşı uyumu ve tutma başarısının araştırılması önerilmektedir. Ayrıca iklim değişikliğine bağlı olarak oluşabilecek olumsuz çevre koşullarına dayanıklılığı arttırabilmek ve sürdürülebilirliği sağlamak için bu çalışma sonucunda elde edilen veriler ışığında en iyi uyum sağlayan fidanlar üzerine abiyotik stresler arasında yer alan kuraklık, UV-B, tuz, don gibi stres uygulamaları yapılarak aşı ile üretilen fidanların dayanıklılığını belirleme çalışmaları yapılabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Düzce Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Rabia PARMAKSIZOĞLU YAN tarafından Doç. Dr. Şemsettin KULAÇ danışmanlığında hazırlanan yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

KAYNAKÇA

- Cantürk, U., Koç, İ., Özel, H. B., & Şevik, H. (2024). Possible changes of *Pinus nigra* distribution regions in Türkiye with the impacts of global climate change. *BioResources*, 19(3), 6190-6214.
- Cantürk, U., & Kulaç, Ş. (2021). The effects of climate change scenarios on *Tilia* spp. in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(12), 771.
- Cebi Kilicoglu, M. (2024a). Metagenomic characterization of root fungal microbiota resistant to heavy metal stress in *Pinus brutia*. *Water, Air, & Soil Pollution*, 235(10), 654.
- Cebi Kilicoglu, M. (2024b). Effects of heavy metal contamination on fungal diversity in *Pinus brutia* shoots. *BioResources*, 19(2), 2724-2735
- Dudu Aslan, E. (2019). Farklı aşı yöntemlerinin ve ortam sıcaklığının kestane (*Cestanea sativa* Mill.) aşılarında tutma başarısına etkisi', [Yüksek Lisans Tezi], Düzce Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Düzce
- Ellialtıoğlu, Ş. Ş. (2023). Aşılama Tekniği, https://personel.omu.edu.tr/docs/ders_dokumanlari/21_2713_1404.pdf. Erişim Tarihi: 02.03.2023.
- Ertan, E., Ada, S., & Alkan, G. (2014). Kestanenin (*Castanea sativa* Mill.) meşe (*Quercus* sp.) üzerine aşılanabilirliği ve toplam flavan içeriklerinin mevsimsel değişimi. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11(2), 13-20.
- Ertürk, N., Arıcak, B., Şevik, H., & Yiğit, N. (2024a). Possible change in distribution areas of *Abies* in Kastamonu due to global climate change. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 24(1), 81-91.
- Ertürk, N., Arıcak, B., Yiğit, N., & Sevik, H. (2024). Potential changes in the suitable distribution areas of *fagus orientalis* lipsky in kastamonu due to global climate change. *Forestist*, 74(2), 159-165.
- Genç, M. (2020). *Bitki Yetiştirme ve Plantasyon Tekniği*. Musa Genç Kitaplığı.
- Gillner, S., Vogt, J., & Roloff, A. (2013). Climatic response and impacts of drought on oaks at urban and forest sites. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12(4), 597- 605.
- Isinkaralar, K., Isinkaralar, O., Koç, İ., Şevik, H., & Özel, H. B. (2025a). Atmospheric Trace Metal Exposure in a 60-Year-Old Wood: A Sustainable Methodological Approach to Measurement of Dry Deposition. *International Journal of Environmental Research*, 19(4), 1-14.
- Isinkaralar, O., Isinkaralar, K., & Sevik, H. (2025b). Health for the future: spatiotemporal CA-MC modeling and spatial pattern prediction via

- dendrochronological approach for nickel and lead deposition. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 1-13.
- Koç, İ. (2019). "Conifers response to water stress: Physiological responses and effects on nutrient use physiology". [PhD Thesis]. Michigan State University, Michigan, USA.
- Koç, İ. (2021a). The effect of global climate change on some climate parameters and climate types in Bolu. *Journal of Bartın Faculty of Forestry*, 23(2), 706-719.
- Koç, İ. (2021b). Changes that may occur in temperature. rain. and climate types due to global climate change: the example of Düzce. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 9(8), 1545-1554.
- Koç, İ. (2022a). Determining the biocomfort zones in near future under global climate change scenarios in Antalya. *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences* 8(1), 6-17.
- Koç, İ. (2022b). Comparison of the gas exchange parameters of two maple species (*Acer negundo* and *Acer pseudoplatanus*) seedlings under drought stress. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 24(1), 65-76.
- Koç, İ., & Nzokou, P. (2022). Do various conifers respond differently to water stress? A comparative study of white pine. concolor and balsam fir. *Kastamonu University Journal of Forest Faculty*, 22(1), 1-16
- Koyuncu, F., & Ersoy, N. (2011). Nursery growing in controlled greenhouse and orchard by using various grafting methods in some apple (*Malus domestica* L.) varieties. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 9(1), 243-246.
- Kulaç, Ş., & Nayir, H. (2021). Determination of grafting adaptation of some chestnut (*Castanea sativa* Mill.) genotypes with Marigoule (*C. sativa* × *C. crenata*) Cultivar. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology (TURJAF)* 9(8):1555-1559.
- Kulaç Ş., & Özkuru Y. (2021). Reproduction of some newly identified chestnut genotypes by different grafting methods from West Anatolia. *Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi*, 21(3): 218-228.
- Langenbruch, C., Helfrich, M., ve Flessa, H. (2012). Effects of beech (*Fagus sylvatica*), ash (*Fraxinus excelsior*) and lime (*Tilia spec.*) on soil chemical properties in a mixed deciduous forest. *Plant and Soil*, 352, 389-403.
- Özongun, Ş., Dolunay, E. M., Öztürk, G., Karakuş, A., Kankaya, A., & Küden, A. (2004). Elma adaptasyon denemesi I. *Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü, Eğirdir Bahçe Kùltürleri Araştırma Enstitüsü, Yayın, (22).*

- Öztürk, A. & Yazıcıoğlu, E. (2015). Aşı zamanı ve yöntemlerinin kivide (*Actinidia deliciosa*, A. Chev) aşı başarısı ve fidan gelişimine etkileri. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 32,1, 23-29.
- Serdar, Ü. (2000). 'The effect of different grafting times and methods on grafted nurse tree production in chestnut'. [Doktora Tezi], Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye.
- Tokar F. & Kovalovsky, D. (1971). *Grafting of Castanea sativa in the open air*. International Congress on Chestnut, 164-172.
- Turna, A. T., Ayan., S., Parlak, S., Yılmaz, E., Gülseven, O., & Akın, S. S. (2020). Gümüşi ıhlamur (*Tilia tomentosa* Moench.)'da aşı başarısı üzerine aşı yöntemi ve zamanının etkileri. *Turkish Journal of Forestry*, 21(1), 1-5.
- Uyanık, E. G., Kulaç, Ş., & Beyazyüz, F. (2022). Effect of grafting method and time on grafting success in Anatolian chestnut (*Castanea sativa* Mill.). *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 10(10), 1972-1981.
- Ürgenç, S. İ. (2001). *Ağaçlandırmalar için tür seçimi, tohum ekimi ve fidan dikiminin pratik esasları*. Ankara: TEMA.
- Varol, T., Canturk, U., Cetin, M., Ozel, H. B., Sevik, H., & Zeren Cetin, I. (2022). Identifying the suitable habitats for Anatolian boxwood (*Buxus sempervirens* L.) for the future regarding the climate change. *Theoretical and Applied Climatology*, 150(1), 637-647.
- Zhang, C., Stratopoulos, L. M. F., Pretzsch, H., Rötzer, T. (2019). How do *Tilia cordata* Greenspire trees cope with drought stress regarding their biomass allocation and ecosystem services?. *Forests*, 10(8), 676

BÖLÜM 4

AEROPONİK SİSTEMDE BİTKİ ÇOĞALTMA

Doç. Dr. Hakan KARADAĞ¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17737070>

¹ Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Tokat, Türkiye.
hakan.karadag@gop.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-1458-7645

1. GİRİŞ

1.1. Aeroponiğin Temel İlkeleri

Aeroponik sistem, son yıllarda kullanımı dünyada hızla yayılan bitkilerin köklerinin havada asılı kalmasıyla besin çözeltisinin doğrudan köklere spray şeklinde uygulanarak yüksek verim elde edilen bir tarım tekniği olarak öne çıkmaktadır. Bu sistemin temel ilkeleri köklerin sürekli olarak nemli kalacak şekilde besin almasını sağlamak, oksijen desteğiyle hızlı kök gelişimini teşvik etmek ve köklerin besin çözeltisine hızlı ve etkin bir şekilde erişmesine olanak tanımaktır. Aeroponik sistemde hava ve suyun dengeli bir biçimde kontrol edilmesi, bitkilerin sağlıklı ve verimli bir şekilde büyümesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda bitkilerin gelişimini destekleyen uygun nem seviyeleri ve hava akışının sağlanması için sisteme uygun otomatik sulama ekipmanları ve destekleyici sensörler kullanılmaktadır. Ayrıca bitkilerin köklenme verimliliğini artırmak için ışık seviyelerinin, ortam sıcaklık değerlerinin ve ortam pH değerinin optimize edilmesi de kontrol edilmesi gereken diğer önemli faktörlerdir (Selvaraj vd. 2019; Taylor 2020; Bayraktar 2024).

Aeroponiğin önemli ilkelerinden biri bitki besin maddelerinin doğrudan köklere ulaştırılmasıdır. Bu yenilikçi yöntem bitkilerin daha az su ve besinle daha hızlı bir şekilde büyümesini sağlayarak tarımsal verimliliği artırmaktadır. Sistemin işleyiş prensipleri arasında köklerin hava ve su alımını en üst düzeye çıkarmak için yüksek nem uyarılarının oluşturulması yer almaktadır. Aeroponik sistemlerdeki çeşitli pompa ve spray mekanizmaları bitki çeliklerine düzenli besin çözeltisi uygularken köklerin etkili bir şekilde havalanmasını da sağlayarak bitkilerin sağlıklı büyümeleri ve optimal gelişim göstermeleri için zemin hazırlamaktadır.

Aeroponiğin sunduğu önemli avantajlar, yüksek verimlilik ve daha kısa büyüme süreleri gibi olumlu sonuçlar doğurmakta; bu nedenle, modern tarım uygulamalarında aeroponik sistemler cazip bir alternatif haline gelmektedir. Günümüzde dünya genelinde sürdürülebilir ve verimli tarım yöntemlerine yönelik artan ilgiyle birlikte aeroponik sistemler daha fazla dikkat çekmekte, bu alandaki teknik ve teknolojik gelişmeler, sistemlerin etkinliğini ve erişilebilirliğini artırmaktadır. Bu tarım yöntemi, aynı zamanda su tasarrufu sağlarken geleneksel tarım yöntemlerine göre toprak ihtiyacını büyük ölçüde

azaltmakta ve böylece gezegenin tarımsal sürdürülebilirliğine katkıda bulunmaktadır (Yavuz vd. 2023).

1.2. Aeroponik Sistem Türleri

Aeroponik sistemler, temel olarak düşük basınçlı (low-pressure) ve yüksek basınçlı (high-pressure) olmak üzere iki ana kategoriye ayrılır.

Düşük Basınçlı Sistemler: Bu sistemlerde, bitki kökleri besin çözeltisi deposu üzerinde asılı durur. Düşük basınçlı bir pompa kullanılarak besin çözeltisi, köklerin üzerine püskürtülür veya damlatılır. Püskürtülen çözeltinin fazlası, yerçekimiyle tekrar depoya döner. Bu sistemler, daha az maliyetli ve kurulumu daha kolay olduğu için genellikle küçük ölçekli ev veya laboratuvar uygulamaları için uygundur. Ancak, bitkiler olgunlaştıkça bazı kök kısımlarının kuruyabileceği ve besin alımının aksayabileceği görülmüştür.

Yüksek Basınçlı Sistemler: Yüksek basınçlı aeroponik sistemler, adından da anlaşılacağı gibi, besin çözeltisini köklere çok ince bir sis (atomize edilmiş form) halinde püskürtür. Bu sis, köklerin yüzey alanını daha etkili bir şekilde kaplar, bu da besin ve oksijenin emilimini maksimum seviyeye çıkarır. Bu sistemler, daha karmaşık ve pahalı olmalarına rağmen, yüksek değerli bitkilerin yetiştirilmesinde ve endüstriyel tarımda yüksek verimlilik sağladıkları için tercih edilir.



Şekil 1. Aeroponik köklendirme ünitesi

1.3. İdeal Çevresel Koşullar

Aeroponik sistemlerde bitki çeliklerinin başarılı bir şekilde köklendirilmesi için çevresel faktörlerin optimize edilmesi ve kontrol altında tutulmaları büyük önem taşır. Bu sebeple birçok farklı ekipman kullanılmaktadır. Kök gelişimi için ideal sıcaklık aralığı 18-24 °C (65-75 °F) arasındadır. Bu sıcaklık, kök hücrelerinin büyümesi ve bölünmesi için en uygun koşulları sağlar. Yüksek nem seviyeleri, yeni oluşan köklerin ve yaprakların kurumasını önlemek için önemlidir. Bu durum özellikle kökler tam olarak oluşana kadar bitkinin su kaybetmesini engeller. Ortamın nem seviyesi devamlı olarak kontrol altında tutulmaktadır. Sensörler yardımıyla yapılan ölçümlere göre sulama rejimi belirlenmektedir. Besin çözeltisinin pH seviyesi, bitkinin besinleri en verimli şekilde alabilmesi için kritik bir faktördür. Aeroponik sistemler için en uygun pH aralığı genellikle 5,5 ile 6,5 arasındadır. Bu aralık bitkinin ihtiyaç duyduğu makro ve mikro elementlerin çözünürlüğünü ve emilimini optimize eder. Çelikler köklenmeye başlamadan önce genellikle dolaylı ve daha düşük yoğunlukta ışığa ihtiyaç duyarlar. Köklenme başladıktan sonra ise bitki türüne göre uygun ışıklandırma süreleri ve yoğunlukları ayarlanmalıdır (Selvaraj vd. 2019; Regas vd. 2021).

2. BİTKİ ÇELİKLERİNİN KÖKLENDİRİLMESİ

Bitki çeliklerinin köklendirilmesi, bitki üretiminde kritik bir aşama olarak karşımıza çıkmakta olup sağlıklı kök oluşumunu artırmak ve gelişimini desteklemek için son derece dikkatli bir şekilde uygulanması gereken bir işlemdir. Köklendirme süreci, çeliklerin uygun bir ortamda köklenmeye başlamasıyla gerçekleşir ve bu süreç bitkinin gelecekteki sağlıklı gelişimi açısından son derece önemli bir yere sahiptir. Aeroponik sistemlerde köklendirme, geleneksel yöntemlere göre pek çok avantaj sunmaktadır; özellikle kök gelişiminin izlenebilirliği, kök ortamının sürekli nemli tutulması ve köklerin oksijenle temasının artırılması gibi özellikler, bu sistemi oldukça avantajlı hale getirmektedir. Bu tür sistemlerde köklendirme işleminin başarıyla gerçekleştirilebilmesi için uygun ortam koşullarının sağlanması elzemdir. İlk aşamada, sterilizasyon ve hijyen kurallarına sıkı bir şekilde uyulmalı, potansiyel enfeksiyon riskleri en aza indirilmeli ve bu sayede kök çürüklüğü ile hastalıkların önüne geçilmelidir. Çeliklerin başarılı bir şekilde köklendirilmesi için uygun hormonların kullanımı, bu sürecin başarısında son

derece önemli bir faktördür. Genellikle indol-3-bütirik asit (IBA) veya indolil asetik asit (IAA) gibi bitki gelişim düzenleyiciler (BGD) tercih edilerek kök gelişimi etkili bir şekilde desteklenmektedir. Bitki gelişim düzenleyicilerin kullanımı, köklenme oranını artırmakta ve köklerin daha sağlıklı bir şekilde gelişmesine büyük katkıda bulunmaktadır. Ayrıca ortam sıcaklığı, nem oranı ve ışıklandırma gibi çevresel faktörlerin optimize edilmesi, köklenmenin başarı oranını doğrudan etkileyen önemli unsurlardandır. Aeroponik sistemlerde gerçekleştirilen köklendirme uygulamalarında, ortam koşullarının düzenli olarak kontrol edilmesi ve gerektiğinde ayarlamalar yapılması büyük bir gerekliliktir. Bu sistemde kök gelişiminin izlenebilir olması sayesinde, yaşanan sorunlar çok daha erken aşamada teşhis edilip gerekli çözümler devreye alınarak müdahale edilebilmektedir. Aeroponik sistemlerde bitki çeliklerinin köklendirilmesi, dikkatli bir planlama ve uygulama ile yüksek verim elde edilmesini, bitki sağlığının korunmasını ve köklendirmenin başarı oranlarının artırılmasını sağlamaktadır. Bu nedenlerle aeroponik köklendirme teknikleri, modern tarım uygulamalarında giderek daha fazla tercih edilen bir yöntem haline gelmektedir (Kaur 2015; Şimşek ve Gül 2018).

2.1. Çelik Nedir?

Çelik, bitkilerin çoğaltılmasında kritik bir rol oynayan ana bitkiden ayrılarak yeni bireylerin elde edilmesine olanak tanıyan bir kesim materyalidir. Genellikle sağlıklı ve güçlü ana bitkilerden elde edilen bu dallar farklı kesim teknikleri aracılığıyla hazırlanır. Çelikler, çeşitli bitki türleri ve çeşitlerinin üretiminde etkin bir şekilde kullanılırken genetik özellikleri ile ana bitkinin tüm karakteristiklerini taşımaktadır. Bununla birlikte çeliklerin başarıyla köklendirilmesi, bitkinin yeni ortamında sağlıklı bir gelişim göstermesi açısından son derece önemlidir. Kesim işlemi bitkinin sağlıklı dallarından veya gövdesinden yapılarak uygun koşullarda köklendirilmek üzere hazırlanır. Bu süreçte kesim noktalarının ve kesim yüzeyinin temiz tutulması gerekirse BGD'ler ile desteklenmesi, başarı oranını artıran etkenlerdendir. Ayrıca çeliklerin köklendirilmesi sırasında ortamın nem, sıcaklık ve hava sirkülasyonu gibi faktörlerin uygun seviyelerde olması gerekir. Çeliklerin köklendirilmesi, bitkinin yeni kökler oluşturmasıyla sonuçlanır ve bu sayede yeni bitki güçlü bir kök yapısına sahip olur. Çeliklerin köklendirilme başarısı, türüne ve kullanılan yöntemlere bağlı olarak

değişkenlik gösterebilir; bu nedenle uygun tekniklerin ve çevresel koşulların bilinçli bir şekilde uygulanması büyük önem taşır. Çelikle çoğaltma, bitki üretim süreçlerinde temel materyal olmanın yanı sıra doğru tekniklerle ve kontrollü uygulanan bakım ile sağlıklı bitkilerin yetiştirilmesinde vazgeçilmez bir unsur olarak karşımıza çıkar.



Şekil 2. Köklendirme çalışma örnekleri

3. AEROPONİK SİSTEMDE KÖKLENDİRME YÖNTEMLERİ

3.1. Aeroponik Sistem Avantajları

Aeroponik sistemlerin en dikkat çekici özelliklerinden biri kök gelişimini hızlandırarak bu süreçte başarı oranını önemli ölçüde artırma yeteneğidir. Geleneksel toprak bazlı yöntemlerle karşılaştırıldığında aeroponik sistem, bitki çeliklerinin köklenmesi için son derece kontrollü ve optimize edilmiş bir ortam sunmaktadır. Bu sistem sayesinde bitki köklerine doğrudan hava ile besin ve su püskürtüldüğünden köklerin gelişimi önemli ölçüde desteklenirken enfeksiyon ve hastalık riskleri de belirgin bir şekilde azalır. Ayrıca aeroponik ortamda köklerin durumu sürekli olarak izlenebilir bu da olası sorunların hızlı bir şekilde tespit edilmesini ve zamanında müdahale edilmesini sağlar. Bu durum, köklenme sürecinin başarı oranını artırmakla kalmaz aynı zamanda bitkilerin sağlıklı ve güçlü kök sistemleriyle

büyümesine olanak tanır (Mateus-Rodriguez vd. 2013; Rostami ve Mohavedi 2016; Gurley 2020; Tokunaga vd. 2020).

Havanın nem ve sıcaklık gibi çevresel faktörlere daha hassas kontrolü bitki gelişimini olumlu yönde etkileyerek köklenme sürecini standardize eder ve farklı bitki türleri için bile yüksek başarı oranlarının elde edilmesini sağlar. Ek olarak sistemin kapalı yapısı su ve besin maddelerinin daha verimli bir şekilde kullanılmasına yardımcı olur; bu da hem maliyetleri düşürerek ekonomik fayda sağlar hem de çevresel sürdürülebilirliği artırır.

Pratikte, aeroponik sistemler hızlı kurulum ve düşük bakım gerektirdiği için özellikle seralarda ve araştırma ortamlarında sıkça tercih edilmektedir. Aeroponik sistemler, köklenme aşamasında yüksek başarı ve verimlilik sağlayarak bitki üretiminde modern ve etkili bir yöntem olarak kendini göstermektedir. Tüm bu avantajlar bitki çeliklerinin sağlıklı ve hızlı bir şekilde köklendirilmesine büyük katkı sunar ve günümüzdeki tarımsal uygulamalar için önemli bir kaynak oluşturur. (Ritter vd. 2001; Hayden, 2002; Cai 2023; Kumar vd. 2023; Mano vd. 2024).

3.2. Aeroponik Sistemde Köklendirme Adımları

Aeroponik sistemde bitki çeliklerinin köklendirilmesi dikkat edilmesi gereken birkaç kritik adımın birleşiminden oluşur. Öncelikle uygun çeliklerin seçimi büyük bir önem taşır. Sağlıklı, hastalıksız ve güçlü bir gövde yapısına sahip çelikler bu süreçte öncelikli olarak tercih edilmelidir. Çelikler, ortalama 20 cm olacak şekilde kesilir ve sisteme yerleştirilir. Sisteme yerleştirilen çeliklerin uç kısımları yaklaşık 35 derecelik bir açı ile kesilir. Bu kesim yöntemi köklenmeyi teşvik etmektedir. Köklendirilen bitki türüne göre değişmekle beraber genellikle köklenmenin gerçekleşeceği kısımdaki kesim işlemi çelik üzerinde bulunan son göz ile arasında 2 cm'lik bir kısım bırakılmalıdır. Bu aşamada steril bir ortam sağlamak ve enfeksiyon risklerini minimize etmek esastır. Çeliklerin sisteme dikiminden önce temizliklerinin yapılması üzerlerinde bulunan hastalık ve zararlı etmenlerin uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu amaçla yıkama ve mantari hastalıklar için ilaçlama yapmak üretimi süreci için avantajlı bir başlangıç sağlar.

İkinci adım köklendirme ortamının hazırlanmasıdır. Aeroponik sistemde köklendirme alanı, iyi bir hava sirkülasyonu ve optimize edilmiş nem seviyeleri sunmalıdır. Yüksek oksijen erişimi, kök gelişimini hızlandırır.

Çeliklerin köklendirilmesi için ortam sıcaklığı genellikle 20-25 °C civarında tutulmalı ve ışık seviyeleri kontrollü bir şekilde ayarlanmalıdır. Çelik köklendirmenin temel esaslarından biri de üst kısımlarının serin alt kısımlarının ise sıcak olmasıdır. Bu amaçla köklenecek kısımlardaki sıcaklık 20-25 °C civarında tutulur. Ortam ısıtmak için ısıtıcı pedler, sıcak hava fanları, sıcak su boruları veya özel ısıtıcı materyaller kullanılmaktadır. Isıtıcı materyaller sistemin kuruluş aşamasındaki tasarıma ve imalat yöntemine göre değişiklik gösterse de işlev olarak sıcaklığı istenilen aralıkta sabit tutmak için tasarlanırlar. Hava akışını ve nem oranını kontrol altına tutabilmek için genellikle fan sistemleri kullanılmaktadır. Sistem içerisindeki nem ve oksijen miktarlarındaki değişimlere göre kontrol ünitesi tarafından otomatik olarak devreye girmekte ve istenilen değer aralıklarına göre çalışmaktadırlar.

Üçüncü aşamada köklendirme süreci başlar. Çelikler, önceden hazırlanan köklenme ortamına yerleştirilir ve düzenli sulama ile oksijen verilerek kök gelişimi desteklenir. Ek olarak köklendirme sırasında BGD'ler kullanılarak kök oluşumu teşvik edilebilir. Bu BGD'ler, çeliklerin köklenme oranını artırarak kök gelişimini hızlandırır. Köklerin yeterince geliştiği gözlemlendiğinde ve sağlıklı bir şekilde köklendiği tespit edildiğinde çelikler yeni büyüme ortamlarına aktarılabilir. Ortamdan çıkarılan köklü çelikler genellikle torf-perlit-toprak karışımı yetiştirme ortamına alınırlar. Bu aşamada dikkat edilmesi gereken en önemli husus köklenme aşamasının tamamında nemli bir ortamda bulundukları için aşamalı bir alıştırmaya ihtiyaç duyarlar. Aeroponik ortamdan alıştırma ortamına alınan köklü çeliklerde sulama işlemi ilk etapta sık aralıklarla (günde 3 defa) yapılması ve ilerleyen günlerde (günde 2 defa, günde 1 defa ve iki günde 1 defa olacak şekilde) aşamalı olarak düşürülmelidir. Aksi takdirde köklenmiş çeliklerde ölümler yaşanacaktır. Tüm bu aşamalar aeroponik sistemde bitki çeliklerinin güvenli bir şekilde köklenmesini sağlayarak yüksek verim ve sağlıklı bitki gelişimi için temel bir yapı oluşturur. Süreç boyunca hijyen kurallarına dikkat edilmesi, enfeksiyon ve hastalık risklerini azaltarak başarı oranını artırır (Osman 2022; Min vd. 2023).

4. KÖKLENDİRMEDE KULLANILAN BİTKİ GELİŞİM DÜZENLEYİCİLER

BGD'ler, bitkilerin köklendirme süreçlerinde hayati bir rol oynayan biyolojik uyarıcılardır. Bu maddeler bitki hücrelerinin büyüme ve gelişimini düzenleyerek kök oluşumunu teşvik eder. Özellikle IBA ve IAA gibi oksinler ile sitokininler ve gibberellinler, köklendirme ortamında belirleyici işlevler üstlenir. IAA ve IBA, kök meristemlerinin uyarılmasını sağlayarak kök oluşumunu hızlandırır, hücre bölünmesi ve uzama süreçlerini aktif hale getirir (Davies 2010). Sitokininler ise hücre bölünmesini ve dallanmayı teşvik ederken bitkinin yeni kök gelişimini destekler (Skoog ve Miller 1957). Gibberellinler ise bitkinin genel büyümesini artırma potansiyeline sahip olup köklerin sağlam yapıda gelişmesine katkıda bulunur.

BGD'nin doğru oranlarda ve zamanlamayla kullanılması köklenme oranının artışı sağlar. Ancak bu maddelerin etkisi yalnızca kimyasal çözümlerle sınırlı değildir; bitkinin kendi bünyesinde doğal olarak ürettiği hormonların dengesine de bağlıdır. Köklendirme sürecinde BGD'nin hatalı kullanımı veya dengesizliği, kök gelişimini engelleyebilir ve bitkinin genel sağlığını olumsuz yönde etkileyebilir. Bu nedenle, uygulamalar sırasında dozaj ve uygulama yöntemleri titizlikle belirlenmelidir (Hartmann vd. 2011).

Kullanılan BGD türleri, bitki çeliklerinin köklendirilme sürecinde başarı oranını artırmak ve kök gelişimini teşvik etmek amacıyla seçilen kimyasal maddeleri içerir. Bu kimyasallar arasında en yaygın kullanılanlar kinetin, IAA, IBA ve diğer sitokininlerdir. IAA, bitkilerde doğal olarak sentezlenen ve kök oluşumunu tetikleyen en önemli endojen hormonlardan biridir. Dışarıdan uygulandığında kök gelişimini teşvik ederek köklenme oranını artırır (Taiz ve Zeiger 2010). IBA ise özellikle kültür ortamında uygulanan ve kök oluşumu üzerinde en etkili olan BGD'nden biridir. Yüksek stabilitesi ve etkinliği sayesinde tercih edilmektedir (Davies 1975). Sitokininler hücre bölünmesi ve dallanma gibi süreçleri destekleyerek bitkinin büyüme dengesine olumlu katkılar sağlar. Kinetin ise özellikle genç fidanların köklendirilmesinde ve büyümesinde kullanılır (Hartmann 2018).

BGD'nin seçimi, çeliklerin türüne ve uygulama koşullarına göre değişiklik gösterir. Hormonların dozajı ve uygulama yöntemi de başarı açısından kritik bir rol oynar. Aşırı kullanım, bitkide strese ve olumsuz gelişmelere yol açabilirken yetersiz dozlar köklendirme oranını azaltabilir. Bu nedenle

kullanımları sırasında titiz bir kontrol ve optimize edilmiş uygulama metotları geliştirilmelidir. Sonuç olarak doğru BGD türlerinin seçimi ve uygun uygulama koşulları, bitki çeliklerinin köklendirilmesinde başarıyı önemli ölçüde etkiler ve sürdürülebilir üretim için hayati öneme sahiptir (Pandey ve Tamta 2012, İzgi 2020; Osman 2022; Altun ve Çelik 2024).



Şekil 3. Aeroponik sistemde lavanta köklendirme

5. AEROPONİK SİSTEMDE DİKKAT EDİLMESİ GEREKENLER

5.1. Çevresel Faktörlerin Etkisi

Çevresel faktörler, aeroponik sistemlerde bitki çeliklerinin köklendirilmesi aşamasında hayati bir rol oynamaktadır. Bu faktörler, kök gelişimini doğrudan etkileyerek köklendirme oranlarını ve kök sağlığını belirlemektedir. Özellikle sıcaklık, nem, ışık ve hava akışları gibi çevresel faktörler, kök gelişiminin hızını ve kalitesini etkileyen temel unsurlar arasındadır. Uygun bir sıcaklık aralığı, kök oluşumunu ve gelişimini destekleyen elverişli bir ortam sunar. 20-25 °C arasında bir sıcaklık, köklenme süreçlerini olumlu yönde etkileyen ideal bir ortam sağlar. Nem oranları ise aşırı yüksek veya düşük seviyelerde kök gelişimini olumsuz etkileyebilir; kuru ortamlar köklenmeyi engelleyebilirken aşırı nem kök çürümesine yol açabilir. Bu nedenle nem seviyelerinin %60-80 aralığında tutulması önerilmektedir. Işık yoğunluğu da kritik bir faktördür; yeterli ve

doğru ışık, bitki sağlığını artırarak köklendirme başarısını yükseltir. Ancak aşırı ışık bitkide stres oluşturarak su kaybını artırabilir. Ayrıca hava sirkülasyonu ve hareketi ortamda hava kalitesinin sağlanması ve hastalıkların önlenmesi açısından son derece önemlidir. Bu çevresel parametrelerin düzenli ve titiz bir şekilde kontrol edilmesi özellikle aeroponik sistemlerde, köklendirme başarısını artırmakta ve köklerin sağlıklı bir şekilde gelişimini sağlamaktadır (Miotto vd. 2021). Ek olarak ortamın steril tutulması ve hijyen kurallarına uyulması, enfeksiyon ve hastalık risklerini azaltmaktadır. Dolayısıyla çevresel unsurların optimum seviyelerde tutulması, bitki gelişimini hızlandırmakta, kök sağlığını desteklemekte ve köklendirme sürecinin başarıyla sonuçlanmasını sağlamaktadır (Kratsch vd. 2006; Yang vd. 2022; Kim vd. 2024).

5.2. Hijyen Kuralları

Hijyen standartları, aeroponik sistemlerde bitki çeliklerinin köklendirilmesi sürecinde başarı oranını belirleyen temel unsurlardan biridir. Bu kuralların ihlal edilmesi, enfeksiyonların ve hastalıkların yayılmasına yol açarak köklendirme verimliliğini düşürmekte ve bitkilerin sağlığını tehdit etmektedir. Öncelikle kullanılacak tüm malzemelerin ve ortamın sterilizasyonu büyük bir önem arz etmektedir. Temin edilen çeliklerin hijyenik olması sağlanmalı, kontaminasyon riski taşıyan yüzeyler ve araçlar düzenli aralıklarla dezenfekte edilmelidir. Ayrıca köklendirme sürecinde temas edilen alanların ve ellerin temizliği, mikroorganizmaların bitki dokularına girmesini engelleyecektir. Ortamda bulunan hava ve suyun hijyen standartlarına uygunluğu da sağlanmalıdır. Hava kalitesinin korunması, etkin havalandırma ve hava filtreleme sistemleriyle gerçekleştirilebilirken suyun hijyeni ise steril veya saf su kullanımıyla garanti altına alınmalıdır. Ek olarak çeliklerin sağlıklı ve hastaliksız olduğu kesin bir şekilde tespit edilmeli; çürük veya hastalıklı materyallerin kullanımı kesinlikle önlenmelidir. Enfeksiyon riskini azaltmak amacıyla kabuk ve yaprak kesimlerinde antiseptik çözümler tercih edilebilir. Bu uygulamalar mikroorganizmaların çoğalmasını engelleyerek köklendirme sürecinin sağlıklı ve hızlı bir şekilde ilerlemesine katkı sunar. Her aşamada hijyen kurallarına riayet edilmesi köklendirme başarısında belirgin bir fark yaratmakta ve bitki gelişimini olumsuz etkileyebilecek tüm potansiyel riskleri minimize etmektedir. Dolayısıyla

hijyenin sağlanması, aeroponik köklendirme ortamlarının güvenilir ve sağlıklı olması için hayati bir gereklilik olup titizlikle uygulanmalıdır (Babu vd. 2022).

6. AEROPONİK SİSTEMDE KARŞILAŞILAN SORUNLAR

6.1. En Sık Karşılaşılan Sorunlar

Köklenme sürecinde en yaygın karşılaşılan zorluklar arasında nem seviyesinin yetersizliği veya aşırı olması, kök gelişimini olumsuz etkileyen enfeksiyonlar ve uygun olmayan hormon uygulamaları yer almaktadır. Düşük nem koşulları, çeliklerin yeterli kök oluşumunu engelleyerek kuruma riskiyle karşı karşıya kalmasına neden olur. Bu duru köklendirme ortamında hijyenin sağlanmadığı hallerde daha da belirginleşir. Öte yandan ortamın aşırı kuru veya aşırı nemli olması köklerin sağlıklı bir şekilde gelişimini engelleyerek bitki sağlığını tehdit eder.

Enfeksiyonlar çoğunlukla bakteriyel veya fungal kaynaklıdır ve bu durum kök sisteminin bütünlüğünü bozarak bitkilerin gelişimine zarar verebilir. Bu tür sorunlar, genellikle hijyen kurallarına riayet edilmediği veya temizlik sağlanmadığı zaman ortaya çıkar. Hormonların yanlış kullanımı ya da uygun dozda uygulanmaması da köklendirme sürecini olumsuz etkileyebilir. Aşırı dozda hormon kullanımı bitkilerin stres yaşamasına veya kök gelişiminin engellenmesine yol açabilir. Ayrıca çevresel faktörlerdeki dengesizlikler, örneğin sıcaklık ve ışık seviyesinin uygunsuz olması, köklendirme işlemlerini daha da zorlaştırabilir.

Bu sorunların önüne geçmek amacıyla köklendirme ortamının düzenli olarak izlenmesi ve hijyen koşullarının titizlikle sağlanması büyük önem taşır. Nem ve sıcaklık seviyelerinin ideal sınırlar içinde tutulması, enfeksiyon riskini önemli ölçüde azaltır. Hormon uygulamalarında ise doğru dozaj ve zamanlama büyük bir dikkatle takip edilmelidir. Ayrıca köklendirme esnasında kullanılan suyun temiz olması ve ortamın sterilizasyonu, karşılaşılan sorunların çözümünde etkili bir rol oynamaktadır. Köklendirme ortamındaki bu faktörlere dikkat edilmesi ve sorunların erken tespiti başarılı köklendirme ve sağlıklı bitki gelişimi açısından hayati bir öneme sahiptir.

6.2. Çözüm Yolları

Çözüm yolları, aeroponik sistemlerde bitki çeliklerinin köklendirilmesi sürecinde karşılaşılan zorlukların aşılması amacıyla çeşitli stratejileri

içermektedir. Öncelikle çevresel koşulların optimize edilmesi, köklendirme başarısını doğrudan etkileyen kritik bir faktördür. Nem seviyesinin yüksek tutulması, kök gelişimi için elverişli bir ortam yaratırken kuruma riskini de önemli ölçüde azaltır. Sıcaklık kontrolü de hayati bir öneme sahiptir; genellikle 20-25 °C aralığında gerçekleşen sıcaklıklar, köklendirme sürecini hızlandırarak sağlıklı kök oluşumunu teşvik eder. Bunun yanı sıra uygun havalandırma sistemlerinin kullanımıyla hava sirkülasyonu sağlanmalı ve havadaki mantar ile bakteri oranları titizlikle kontrol edilmelidir. Hijyen kurallarına uymak, enfeksiyon risklerinin en aza indirilmesi açısından kritik bir rol oynamaktadır. Tüm ekipmanların sterilize edilmesi ve kullanılan ortamın düzenli bir biçimde temizlenmesi, köklendirme başarı oranını artırma potansiyeline sahiptir. Kimyasal çözümler arasında köklendirme hormonlarının kullanımı önemli bir yer tutar. Özellikle IBA ve benzeri hormonal maddeler, kök gelişimini hızlandırmak ve kök kalitesini artırmak amacıyla tercih edilmektedir. Hormonların uygun dozlarda ve doğru uygulama teknikleriyle kullanılması olumlu sonuçlar doğurur. Bununla birlikte köklendirme sürecinde stres faktörlerinin minimize edilmesi için çevresel değişikliklerin yavaş ve kontrol altına alınarak gerçekleştirilmesi önerilir. Ayrıca bitki çeliklerinin kesim ve dikim esnasında uygun aletlerin kullanılması yaraların steril olmasını sağlamak ve kesim sonrası bakım yapmak da önemli çözümler arasında yer almaktadır. Bazı durumlarda mikroorganizmalar veya zararlı organizmalar köklendirme sürecini olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle biyolojik ya da kimyasal inhibitörlerin kullanımı ile enfeksiyon riskleri azaltılabilir. Son olara izleme ve değerlendirme süreçlerinin sürekli hale getirilmesi, olası sorunların erken teşhisini sağlayarak uygulanan çözümlerin hızla etkili hale gelmesine olanak tanır. Bu bütüncül yaklaşım aeroponik sistemlerde bitki çeliklerinin köklendirilmesini güvenilir ve verimli bir hale getirerek başarı oranını artırır ve sağlıklı genç bitki oluşumunu destekler (Lakhia vd. 2018; Resh 2022).

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Aeroponik sistemlerde uygun çevresel koşulların sağlanması bitki sağlığı ve kök oluşumu üzerinde belirleyici rol oynayan temel unsurlardanır. Kontrollü ortamlarda havalandırma, sıcaklık ve nem seviyelerinin optimal düzeylerde tutulması, köklenme oranlarını artırmakta ve bitki sağlığını

korumakta önemli bir etken teşkil etmektedir. Hijyen standartlarına uyulması, enfeksiyon risklerini azaltarak köklenme başarısını olumlu yönde etkilemektedir. BGD kullanımı, köklendirme sürecini hızlandırmak amacıyla sıkça tercih edilirken bu bağlamda çoğunlukla oksin türleri kullanılmaktadır.

Karşılaşılan temel sorunlar arasında düşük köklenme oranları ve enfekte kökler yer almakta olup bu sorunların üstesinden gelmek için ortamın optimize edilmesine ve hijyen kurallarına titizlikle uyulmasına özen gösterilmelidir. Araştırmalar aeroponik sistemlerde köklendirme süresinin kısaltılabileceğini ve başarı oranlarının artırılabilceğini ortaya koymaktadır. Bu alandaki çalışmalar, hormonların doğru dozajı ve uygulama teknikleri hakkında değerli veriler sunmaktadır (Bayraktar 2024).

Gelecek dönemlerde teknolojik gelişmelerle birlikte otomasyon ve sensör tabanlı izleme sistemleri aracılığıyla köklendirme sürecinin kontrolü daha etkili bir hale getirilebilir. Ayrıca farklı bitki türleri ve çelik çeşitleri üzerine gerçekleştirilen araştırmalara yönelik artan ilgi köklenme oranlarının ve sağlıklı kök gelişiminin iyileştirilmesine önemli katkılar sunmaktadır. Sonuç olarak aeroponik sistemlerde bitki çeliklerinin köklendirilmesi, hijyen, çevresel faktörler ve hormon kullanımı gibi etmenlerin doğru yönetimi ile yüksek başarıyla gerçekleştirilebilir. Bu bağlamda uygulayıcıların dikkat etmesi gereken unsurları göz önünde bulundurması ve sistematik araştırmalar yapması, köklendirme süreçlerinin optimizasyonu açısından kritik bir önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Altun, B., & Çelik, H. (2024). Orman Gülü (*Rhododendron ssp.*) çeliklerinin köklenmeleri üzerine farklı uygulamaların etkileri. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 7 (2), 351-358.
- Babu, G.A., Mosa Christas, K., Kowsalya, E., Ramesh, M., Sohn, SI., & Pandian, S. (2022). Improved sterilization techniques for successful in vitro micropropagation. *Commercial Scale Tissue Culture for Horticulture and Plantation Crops*. Springer Nature, ss. 1-21, Singapore.
- Bayraktar, N.B. (2024). *Dikey Tarım Teknolojisinde Neofobi Etkisi, Ürün Algısı ve Satın Alma Davranışlarının Değerlendirilmesi*. [Yayınlanmamış Doktora Tezi]. İstanbul Gelişim Üniversitesi.
- Cai, J., Veerappan, V., Arildsen, K., Sullivan, C., Piechowicz, M., Frugoli, J., & Dickstein, R. (2023). A modified aeroponic system for growing small-seeded legumes and other plants to study root systems. *Plant Methods*, 19(1), 21. <https://doi.org/10.1186/s13007-023-01000-6>
- Davies, F. (1975). *Hartmann and Kester's plant propagation: Principles and practices*. Uploaded (2024) University of California, Davis. https://www.academia.edu/123459859/Hartmann_and_Kesters_Plant_Propagation_Principles_and_Practices
- Davies P. J. (2010). *Plant hormones: Physiology, biochemistry and molecular biology*. Springer Dordrecht.
- Gurley, W T. (2020). *Aeroponics: Growing vertical*. CRC Press, Broken Sound Parkway Nw, Suite 300, Boca Raton.
- Davies, F. (2018). *Hartmann and Kester's principles and practices of plant propagation*. Acta Horticulturae, s. 1024, USA.
- Hartmann, H.T., Kester, D.E., Davies, F.T., & Geneve, R.L. (2011). *Hartmann and Kester's plant propagation: principles and practices*. Pearson Education, s. 1024.
- Hayden, A.L. Yokelsen, T.N. Giacomelli, G.A. & Hoffmann, J.J. (2002). XXVI International horticultural congress: The future for medicinal and aromatic plants. In P.L.E. Craker, J.E. Simon, A. Jatisatienr, E. Lewinsohn (Eds), *Aeroponics: An Alternative Production System for High-Value Root Crops*, ss. 207–213.

- Ibrahim, A.O.S. (2022). *Bazı Pyrus Türlerinde Mikro Çeliklerin Ex Vitro Köklenmesi ve In Vitro Bitkiciklerin Dış Koşullara Alıştırılmasında Yüzen Su Kültürü Tekniğinin Kullanımı Üzerinde Araştırmalar* [Yayınlanmamış Doktora Tezi]. Ankara Üniversitesi.
- İzgi, M.N. (2020). Farklı IBA (indol-3-bütirik asit) dozları ve köklendirme ortamlarının bazı tıbbi bitkilerin köklenmesi üzerine etkileri. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 7 (1), 9-16.
- Kaur, S. (2015). Effect of different treatments of Indole-3-butyric acid (IBA) on the rooting and growth performance of hardwood cuttings of peach (*Prunus persica* L. Batch). *Agricultural Science Digest-A Research Journal*, 35(1), 41-45.
- Kim, J., Park, H., Seo, C., Kim, H., Choi, G., Kim, M., ... & Lee, W. (2024). Sustainable and inflatable aeroponics smart farm system for water efficiency and high-value crop production. *Applied Sciences*, 14(11), 4931.
- Kratsch, H.A., Graves, W.R., & Gladon, R.J. (2006). Aeroponic system for control of root-zone atmosphere. *Environmental and Experimental Botany*, 55(1-2), 70-76.
- Kumar, S., Fandan, R., & Sachin, P. (2023). Hydroponics and Aeroponics: Advancement in Soilless Cultivation. *Recent trends in Agriculture*, 10, 99-112.
- Lakhia, I.A., Gao, J., Syed, T.N., Chandio, F.A., & Buttar, N.A. (2018). Modern plant cultivation technologies in agriculture under controlled environment: a review on aeroponics. *Journal of Plant Interactions*, 13(1), 338–352.
- Mano, B., Arthi, B., Arthi, M., Asha, R., & Prabha, P. (2024). Aeroponics vertical indoor farming. *International Journal of Science and Research Archive*, 11(2), 407-411.
- Mateus-Rodriguez, J.R., de Haan, S., Andrade-Piedra, J.L., Maldonado, L., Hareau, G., Barker, I., ... & Benítez, J. (2013). Technical and economic analysis of aeroponics and other systems for potato mini-tuber production in Latin America. *American Journal of Potato Research*, 90(4), 357-368.

- Min, A., Nguyen, N., Howatt, L., Tavares, M., & Seo, J. (2023). Aeroponic systems design: Considerations and challenges. *Journal of Agricultural Engineering*, 54 (1). <https://doi.org/10.4081/jae.2022.1387>
- Miotto, Y.E., Costa, C.T., Offringa, R., Kleine-Vehn, J., & Maraschin, F.D.S. (2021). Effects of light intensity on root development in a d-root growth system. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.778382>
- Pandey, A., & Tamta, S. (2012). Influence of kinetin on *in vitro* rooting and survival of banj oak (*Quercus leucotrichophora* L.). *African Journal of Biotechnology*, 11(62), 12538-12545.
- Regas, T., Han, J.H., Pauli, C.S., & Park, S.H. (2021). Employing aeroponic systems for the clonal propagation of *Cannabis*. *Journal of Visualized Experiments (JoVE)*, (178), e63117.
- Resh, H.M. (2022). *Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower*. CRC Press, s. 642.
- Ritter, E., Angulo, B., Riga, P., Herran, C., Relloso, J., & San Jose, M. (2001). Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers. *Potato Research*, 44(2), 127-135.
- Rostami, M., & Movahedi, Z. (2016). Evaluating the effects of Naphthalene acetic acid (NAA) on morpho-physiological traits of valerian (*Valeriana officinalis* L.) in aeroponic system. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 6(3), 1751-1759.
- Selvaraj, M. G., Montoya-P, M.E., Atanbori, J., French, A.P., & Pridmore, T. (2019). A low-cost aeroponic phenotyping system for storage root development: unravelling the below-ground secrets of cassava (*Manihot esculenta*). *Plant Methods*, 15(1), 131.
- Skoog, F. & Miller, C.O. (1957). Chemical regulation of growth and organ formation in plant tissues cultured in vitro. *Symposia of the Society for Experimental Biology*, 11, 118-131.
- Şimşek, A., & Gül, A. (2018). Süs bitkisi fidanı üretiminde aeroponik (aerofog) sistemi ile diğer klasik köklendirme ortamlarının karşılaştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22 (2), 760-767.

- Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant Physiology* (5th ed). Sinauer Associates, s.782, Sunderland.
- Tokunaga, H., Anh, N.H., Dong, N.V., Ham, L.H., Hanh, N.T., Hung, N., ... & Seki, M. (2020). An efficient method of propagating cassava plants using aeroponic culture. *Journal of Crop Improvement*, 34(1), 64-83.
- Yang, X., Luo, Y., & Jiang, P. (2022). Sustainable soilless cultivation mode: Cultivation study on droplet settlement of plant roots under ultrasonic aeroponic cultivation. *Sustainability*, 14(21), 13705.
- Yavuz, K., Toksöz, O., & Berber, D. (2023). Topraksız tarım teknolojileri gelecek için sürdürülebilir bir çözüm mü?. *Frontiers in Life Sciences and Related Technologies*, 4(3), 157-170.

BÖLÜM 5

PIRNAL MEŞESİNİN (*Quercus ilex* L.) FİDAN ÜRETİM VE AĞAÇLANDIRMA TEKNİĞİ

Dr. Mesut TANDOĞAN¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17737135>

¹ Marmara Ormancılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü (Emekli), İstanbul, Türkiye.
mesuttandogan34@gmail.com, Orcid ID: 0000-0003-0930-437X

1. GİRİŞ

Türkiye’de 17 türü bulunan (Akkemik 2016) meşe (*Quercus* sp.) toplam ormanlık alanın %29,64’ünü (6.924.886 ha) oluşturmaktadır. Bu alanın %59’luk kısmını oluşturan boşluklu (verimsiz) meşe alanlarının (OGM 2024a) meşe ormanlarının çoğunda gençleştirme acil bir silvikültürel ihtiyaçtır. Bu ihtiyacın giderilmesi ve meşe alanlarının verimli hale getirilmesi ya da yeniden kurulmasında yapay gençleştirme/ağaçlandırma yöntemi önem kazanmaktadır (Özel vd. 2023).

Pırnal meşe (*Quercus ilex* L.), Anadolu’da ak pırnal, karagan, pırnal, meşe, calı meşesi, pinal, piynar pırnar, cakpelit, kaba piynar, gerpelit, kesme, kırtık, zıbırğa, pilit, tavsanak, palamud ağacı, pernar ağacı, sindian ağacı (Bedevian 1936, Baytop 2007; Gültekin 2014; Akkemik vd. 2019; Akkemik vd. 2022) adlarıyla bilinir. Akdeniz-Ege ve Marmara’nın maki grubunda yer alan türlerindendir. Muğla ve çevresinde, her üç herdem yeşil meşe türünün de adı “piynar” olup yapraklarının alt yüzünün yoğun tüylü olmasından dolayı *Q. aucheri* türüne “boz pırnal”; yaprakları çıplak ve koyu yeşil olmasından dolayı *Q. coccifera* türüne “kara pırnal”; yapraklarının büyük ve yaprak boyunun daha uzun olmasından dolayı da *Q. ilex* türüne “kaba pırnal” adları verilmiştir. Pırnal meşe, diğer meşe türlerine göre üzerinde en az çalışılan ve yayılış alanı en fazla tahribata uğrayan türlerden biridir (Akkemik vd. 2022)

Doğal yayılışı, Portekiz, İspanya, Fas, Fransa, İtalya, Yunanistan, Ege adaları, Korsika, Cezayir ve Türkiye’yi kapsamaktadır. Ayrıca Tunus, İsrail ve Balkanlar’da rastlanmaktadır. Batı Akdeniz bölümünde Yunanistan’da Kuzey Peleponnez’e kadar *Q. ilex* geniş yayılışa sahiptir (Yaltırık 1984, Kasaplıgil 1992, Özel vd. 2006; Şahin 2016). Yayılış yaptığı bölümler içerisinde, Akdeniz, Ege, Marmara ve kısmen de Karadeniz çevresinin bir türü olmasına karşın en fazla yayılışını ve asıl orman örtüsünü Batı Akdeniz Havzası’nda oluşturmaktadır (Barbero vd. 1992; Akkemik vd. 2022). Tür; genel olarak Türkiye’de Samsun-Muğla arasındaki sahil kesimlerinde küçük parçalar halinde yayılış yapmaktadır. Ancak en yoğun yayılışını Batı Akdeniz Bölgesi’nde yapar (Yaltırık 1984; Özel vd. 2012; Boydak ve Çalışkan 2014; Akkemik vd. 2020). Bulunduğu yerler kuzeyde Trabzon, Samsun, Sinop, Zonguldak, Bolu-Akçakoca, İstanbul-Elmalı ve Fenertepe, Ege’de Çanakkale-Gökçeada, Ezine, Aydın-Dilek Yarımadası, Muğla-Datça, Fethiye ve Antalya-Kemer-Tahtalı Dağı’dır (Akkemik vd. 2022).

Boylu bir çalı veya 12-20 m'ye kadar boylanabilen, yuvarlak geniş tepeli herdem yeşil bir ağaçtır (Yaltırık 1984; Kasaplıgil 1992; Şahin 2016). Bazı bireyler 25-30 m yüksekliğe kadar çıkabilir (De Rigo ve Caudullo 2016; Wikipedia 2025). Mızrak şeklinden ovale kadar şekli değişebilen herdem yeşil yapraklar 3-7 cm uzunluğunda, kalın, deri gibi sert, bazıları tam kenarlı, bazıları batıcı dişlidir. Kadeh 15 mm çapında; yaprakların üst yüzü parlak koyu yeşil, alt yüzü sarımsı beyaz-keçe gibi tüylü ve 0,5-2 cm yünlü yaprak sapına sahiptir (Yaltırık 1984; Akkemik 2007; De Rigo ve Caudullo 2016). İki alt türü vardır: *Q. ilex* subsp. *ilex* ve *Q. ilex* subsp. *ballota* (Desf.) Samp. Bazı yazarlar tarafından “*ballota*” alt-türüne, ayrı bir tür ismi (*Q. rotundifolia*) verilse de (Wikipedia 2025) literatürde halen “*rotundifolia*” pırnal meşenin bir alt-türü olarak tanımlanmaktadır.

Işık ağacı (Ankaya 2007; Durmuşkaya 2006) olarak tanımlanmakla birlikte gölgeli ortamları tolere edebilmektedir. Işık durumunun değişmesi ile zamanla yerini daha çok ışık seven ve daha fazla kserofit olan türlere verebilir (Pavari 1961; Meyer 1969; Wikipedia 2025). Bu özellikleriyle bir yarı ışık ağacı olarak ifade edilebilir. Gençlikte yavaş büyür

Ahşap el aletlerinin yapımında, fiçı, mobilya ve inşaatta, yakacak odun, gıda, ecza ve kaliteli odun kömürü üretmek için kullanılır (Fischer ve Colinas 1996; Günal 2003; Şahin vd. 2016). Kuş ve sürüngenlerin önemli habitatlarıdır. Palamutları hem hayvanlar hem de insanlar için önemli bir besindir, kabukları tanen kaynağıdır. Akdeniz ülkelerinde agroforestry/silvo-pastoral sistemler içinde tercih edilen bu tür, trüf bahçelerinin kurulmasında veya yer mantarlarının yetiştirilmesinde de kökleri ile güçlü bir ektomikorizal ilişki sağladığından tercih edilen bir meşe türüdür (Fischer ve Colinas 1996; Çalışkan 2014; Jansson vd. 2016; Schirone vd. 2019; Akkemik vd. 2022; PFAF 2025). Eskiden beri ev içi kullanımlar, yara tedavisinde geleneksel kullanım, kentleşme, tarla açma, yangınlar, ticaret için acımasız yararlanma, odun kömürü, yakacak odun, aşırı otlatma, mantar enfeksiyonları, bazı güve zararlıları ve iklim değişikliği gibi nedenlerle düşük-orta etki derecesinde tehdit altındadır. Diğer yandan sert odunları oldukça değerlidir ve eski zamanlardan beri sütunlar, aletler, vagonlar, gemiler ve şarap fıçıları gibi genel inşaat amaçları için kullanılmaktadır. Zaman içinde Güney Avrupa'da Akdeniz ikliminin hüküm sürdüğü bölgelerde fazla tahrip sonucu çalılışmış olan pırnal meşesi sahaları koruya dönüştürülerek yeniden kazanılmıştır.

Uzun ömürlü bir türdür, bazı bireyler 1000 yılı geride bırakmıştır. Herdem yeşil yaprakları ve genel görünüşü ile kentlerin park ve bahçelerinde görkemli ve değerli bir peyzaj ögesidir. Ayrıca kıyı rüzgârları için rüzgâr perdesi olarak kullanılması, budamaya uygun olmasından dolayı çit olarak da yetiştirilmesi mümkündür (Sabuncu 2002; De Rigo ve Caudullo 2016; Schirone vd. 2019; Akkemik vd. 2022; Wikipedia 2025). Türkiye’de, özellikle sahil kesimlerinde, büyük tahribata uğramış, meşe ihtiva eden bozulmuş ormanlık alanların, yoğun kültür metotları kullanılarak yerli veya yabancı türlerle verimli hale getirilmesi (Tunçtaner vd. 2007) önerilmiştir. Pırnal meşe, bu anlamda tahrip gören meşelik alanların hem objesi hem de kültür metotları uygulanabilecek en uygun ağaç türlerinden biridir.

Pırnal meşe; serpili, kümeler ve meşcere düzeyinde makilerin içinde yer alabilmektedir. Bununla birlikte maki elemanlarının bulunduğu her yerde yayılış yapmamaktadır. Bu nedenle maki elemanı olarak yazılmaması, kayıtlarının ayrı yapılması önerilmiştir (Akkemik vd. 2022). Türe ait Orman Genel Müdürlüğü, Muğla Orman Bölge Müdürlüğü, Karabörtlen Şefliği 93 no.lu bölmede 3,5 ha’lık alanda tesis edilmiş 1 adet tohum plantasyonu bulunmaktadır (OGM 2025).

Bu bölümde, Türkiye’de Akdeniz, Ege, Marmara ve kısmen Karadeniz’de doğal yayılışını yapan herdem yeşil pırnal meşenin (*Q. ilex*) fizyografik, iklimik, edafik, özellikleri; tohum, meyve oluşumu ve çimlenme özellikleri, fidan üretim, ağaçlandırma/yapay gençleştirme teknikleri ve vejetatif üretim teknikleri ele alınarak, bu bilgiler ışığında ormancılık uygulamalarındaki yeri ve önemine değinilmiştir.

2. EKOLOJİK İSTEKLERİ

2.1.Fizyografik Özellikler

Akdeniz Havzası’nda 2500-2800 m’ye kadar çıkabilen ve saf ormanlar kurabilen bu türün yüksekliği Türkiye’nin kuzeyinde deniz seviyesinde, güneyde ise 900-1300 m’lere çıkar. Akdeniz ve Ege Bölgesi’nde yapılan amenajman planlarının çoğunda, değişik yükselti ve mevkiilerde, pırnal meşesinin maki elemanları içinde ismi geçse de, bu zamana kadar yapılan araştırmalarda türün Türkiye’deki yayılışı genel olarak 0-520 m olarak gösterilmiştir. Ancak Güneyde Datça Yarımadasının üst kesimlerinde 1050-1120 m’ye ve Antalya-Kemer Tahtalı Dağı’nda 1200-1300 m’ye çıkar. Eğim

grupları bakımından %0-20 (düz, hafif), %21-40 (orta) eğimli, %41-60 (eğimli), eğimli>%60 (sarp, dağlık) alanlarda bulunabilir. Pırnal meşesinin Türkiye’de doğal yayılış gösterdiği bölgelerde sahip olduğu bakılar kuzey, kuzeydoğu, kuzeybatı, doğu ve batı, güney, güneybatı, güneydoğu ve düz (bakısız) alanlardır. Türün doğal yayılış alanlarındaki arazi yüzü şekilleri (reliyef) tepe, sırt, alt yamaç, üst yamaç, orta yamac ve taban şeklinde özellik gösterir (Kasaplıgil 1952; Barbero vd. 1992; Özalp 1993; Günal 2003; Akkemik vd. 2020; Akkemik vd. 2022).

2.2. İklim Özellikleri

Akdeniz havzasının batı kesiminde genellikle *Q. suber*, *Pinus pinea*, *P. pinaster*, *P. halepensis*, *Q. pubescens* ve *Q. faginea* ile ormanlar oluşturan *Q. ilex*, doğu kesiminde ise Ege Adalarında ve Türkiye’de çoğunlukla kızılçam ormanı ve maki formasyonu içinde küçük topluluklar halinde görülür. Bu açıdan pırnal meşesi, yaz kuraklığının daha uzun ve belirgin olduğu Türkiye’de yetiştirme ortamı olarak kıyı kesimlerini, bu kesimlerde de yağış açısından elverişli dar alanları seçmiştir (Güenal 2003, 2011; Akkemik vd. 2022).

Yayılış gösterdiği Akdeniz Bölgesi’nde yıllık yağış alt ve üst sınırı 384-1462 mm olup 250 mm’ye kadar tolere edebilir. Ancak Terradas ve Save (1992), İber Yarımadasındaki kaba pırnal ormanlarının devamlılığı için yağışın en az 440 mm olması gerektiğini tespit etmiştir. Türkiye’deki yayılış alanlarında yağış 606-1300 mm arasındadır. Nispi nem ortalaması %62 civarındadır, nem isteği bakımından toleranslıdır. Sıcaklık, yöreye göre 12-19,4 °C’dir. Güneyde en yüksek ay ortalaması 21-27 °C arasında değişirken, en düşük ortalamaları 5-12,2 °C’dir (Fischer ve Colinas 1996; Güenal 2003, 2011; Akkemik vd. 2020; Akkemik vd. 2022; Wikipedia 2025).

Pérez-Ramos vd. (2013) *Q. ilex*’in gençleştirme aşamasında (doğal) deneysel yağış azaltma (%30) koşullarının tohum ve fidanların hayatta kalma oranını azalttığını tespit etmişlerdir. Mikro habitat etkileri bakımından en yüksek gençleştirme başarısı yarı gölgeli parsellerde elde edilirken, çimlenme ve fidan çıkışının ışıqla arttığı, fidan hayatta kalma oranının gölgede daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlara göre artan kuraklığın doğal koşullarda fidanların hayatta kalma durumunu sınırladığını söylemek mümkündür.

Tür, yayılış alanlarında gölge, soğuk ve sıcak koşullara tolerans gösterebilmektedir. İklim özellikleri bakımından Akdeniz Bölgesi'nin soğuk kışlarına, yaz kuraklığına ve yangına karşı oldukça dayanıklıdır ve kurak topraklarda yetişebilir. Kışın kısa süreler için -24 °C'ye kadar hayatta kalabilir. Ancak vejetasyon mevsiminde soğuğa karşı hassas olduğundan donlardan zarar görür (Barbero vd. 1992; Durmuşkaya 2006; Ankaya 2007; Campelo vd. 2009; Fotelli vd. 2015; De Rigo ve Caudullo 2016; Akkemik vd. 2020; Akkemik vd. 2022; Wikipedia 2025).

Sabaté vd. (2002)'nin HadCM2 + IS92a senaryosu ve FOREST-BGC eko fizyolojik modeli ile yapmış olduğu iklim senaryolarında *Q. ilex*'in, 2050'ye kadar CO₂ artışı sayesinde daha fazla biyokütle üretimi gösterebileceği, 2100'e doğru ise, özellikle yaz kuraklıkları nedeniyle ve sık topraklı habitatlarda üretim ve hayatta kalma oranının azalacağı ifade edilmiştir. Pato'n vd. (2009) ise iklimin Akdeniz'de daha "yarı-tropikal" bir modele (sıcak kış+kurak ilkbahar-yaz+ilkbahar yağışı azalışı) kaymasının saha gözlemleri ve gövde kesitleri analizi ile türün büyümesini kısıtlayıcı bir faktör olduğunu belirtilmişlerdir.

WorldClim 1.4 CMIP5 iklim senaryoları, türün güncel yayılışına göre 2050 yılında ortalama %55,57 kayıp, %98,30 kazanım, %42,73 değişim; 2070 yılında ise ortalama %64,84 kayıp, %66,22 kazanım, %1,38 değişim öngörmektedir (Akkemik vd. 2022).

2.3.Toprak Özellikleri

Kuzeybatı İtalya'da yapılan bir çalışmada, türün kumtaşı, kuvars, konglomera, granit, kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, marnlı kireçtaşı, ofiolit gibi birçok anakaya üzerinde bulunduğu tespit edilmiştir. Quezel (1979) türün marnlı topraklardan çok kalkerli, dolomitik kireç taşı ve silisli toprakları tercih ettiğini belirtmiştir. Akkemik vd. (2022)'nin Türkiye'de pırnal meşesinin doğal yayılış alanlarında aldığı örnek alanlarda tespit edilen anakayalar bazalt, kireç taşı, karbonatlar, ince tabakalı şistlerdir.

Genel olarak kilce zengin, kırmızı Akdeniz topraklarının en yaygın anakaya-ana materyalleri kalker, silis olup %18 den az kil içeren kumlu balçık topraklarda da yaygındır (Günel 2003; Ankaya 2007; Wikipedia 2025). Örneğin Zonguldak-Alaplı'da bazalt, Aydın-Davutlar'da şist, Datça-Yayladağ

mıntıkasında kireç taşı anakayası üzerinde bulunmaktadır (Özalp 1993; Akkemik vd. 2022).

Soğuk ve kötü drenajlı olanlar hariç tüm topraklarda yetişebilir. Kumlu/Kumlu balçık topraklarda iyi büyür, derin verimli toprağı tercih eder. Sığ kalker ana kayalı topraklarda gelişebilir (PFAF 2025).

Yayılış alanlarında serbest drenajlı, iyi havalanabilen derin, taşsız topraklarda daha iyi gelişmektedir (Ankaya 2007; Kantarcı 2023). Derine inen gelişmiş bir kök sistemine sahiptir, toprak suyunu iyi çeker ve uygun koşullarda hızlı büyür (Rambal 1984; Durmuşkaya 2006; Ankaya 2007). Kuraklığa dayanıklı olsa da çok bariz kuraklık gösteren alanlarda olumsuz etkilenebilirler. Kilce zengin topraklarda yetişmeleri durumunda artan su tutma kapasiteleri nedeniyle olumlu etkilendirler (Günel 2003).

Doğal yayılış alanlarında türe bazen ölü örtü ya da yeşillik alanlar, bazen ölü örtü ve taşlık alanlar, bazen ölü örtü ve yeşillenmiş alanlar, bazen de taşlı alanlar üzerinde rastlamak mümkündür (Akkemik vd. 2022).

Yapılan çeşitli araştırmalarda pırnal meşesi alanlarında toprak reaksiyonu (pH), 4,35-6,79/7,76-7,9, organik madde 1.66 ± 0.30 , organik karbon (%) 0,49-12,75, azot 0.09 ± 0.01 , toplam azot (%) 0,013-0,332, fosfor (ppm) 26.31 ± 7.87 , potasyum (ppm) 344.33 ± 109.80 , kalsiyum (meq/100g) 5.00 ± 0.69 , magnezyum (meq/100g) 1.80 ± 0.53 , sodyum (meq/100g) 0.41 ± 0.03 değerleri tespit edilmiştir. EC (Tuzluluk) (%) oranı 0.15-0.18 olup bu nevi kireçli topraklarda yetişebilir (Ankaya 2007; Gonz'alez-Rodríguez vd. 2011; Günel 2003; Olarieta vd. 2017; Akkemik vd. 2022).

Souad ve Amraoui (2020), Fas'ın Orta Atlas bölgesinden alınmış zengin, orta ve düşük azot-organik madde ihtivası olan üç çeşit kumlu toprak üzerinde *Q. ilex* fidanlarının kök ve sürgün gelişimini incelemiş, bu farklılıkların gövde ve yaprak gelişimini etkilemediğı ancak ana kök ve yan köklerin gelişimini azot, organik madde ve kum fraksiyonuna koşut olarak etkilediğini tespit etmişlerdir. Başarı için özellikle yan kök oluşumunu artıran azotça zengin, ince kum fraksiyonları yüksek toprakların tercih edilmesi gerektiğı ifade edilmiştir.

3. ÜRETİM VE YETİŞTİRME TEKNİKLERİ

3.1. Çiçeklenme, Tohum ve Meyve Oluşumu

Tek evcikli olan (De Rigo ve Caudullo 2016) bitkinin çiçeklenme zamanı Nisan-5 Haziran arasındadır (Gültekin 2014; Wikipedia 2025). Tür, cinsin diğer üyeleriyle melezleşebilir (PFAF 2025). Meyvelerin 2-3 tanesi bir arada, çoğunlukla saplıdır. Palamut dar, yumurta biçiminde ve 1,5-2,5 cm uzunluğundadır. 1 yılda olgunlaşır. Kadeh palamudun hemen hemen yarısını veya 1/3 oranındaki kısmını içeri alır (Yaltırık 1984; De Rigo ve Caudullo 2016). 1000 tane ağırlığı ortalama 2500 g'dır. 230-400 fidan elde edilir. Tohum toplama zamanı Ekim-Aralık aylarıdır. 20-45 yaşlarında tohum vermeye başlayan tür, 2-3 (4) yılda bir bol tohum verir (Gültekin 2014; Wikipedia 2025). De Rigo ve Caudullo (2016), türün Avrupa'da 4-6 yılda bir bol tohum verdiğini ve Kasım-Ocak aylarında döküldüğünü ifade etmiştir. Rekalsitrant (kurudukça canlılığını kaybeden, uzun süre saklanamayan) karakter taşıyan türün rutubet kaybına karşı hassasiyeti yüksek olup, tohum rutubetinin %50'den fazla olması gerektiği (%50-55) ifade edilmiştir (Akkemik 2007; Pasquini vd. 2011; Genç 2020). Tohuma uygulanacak ön işlem olarak hemen ekim ya da doğal koşullarda katlama önerilmiştir (ÇEM 2013).

3.2. Çimlenme

Meşe tohumları serin, iyi havalandan ve zemini toprak yahut beton olan bodrumlarda ya da palamut barakalarında +6-8°C' yi geçmeyecek şekilde muhafaza edilebilir (Saatçioğlu 1961). Ancak bu durum tür bazında birçok meşe türü için farklılıklar göstermektedir. Gonz'alez-Rodríguez vd. (2011), araştırmaları için kullanacakları ve Ekim-Aralık-2007 döneminde topladıkları tohumları, yüzdürme yöntemiyle çürüklerinden elemiş ve Ocak 2008'e kadar 2-5 °C'de soğuk hava deposunda saklamışlardır. Pasquini vd. (2011), yüzdürme deneyi ile boş ve hasarlı *Q.ilex* tohumlarını ayıkladıktan sonra çimlendirilecek tohumları mantar ve patojenlere karşı, fungusit ya da termoretapi (41 °C'de 2,5 saat sıcak suya daldırma) ile ön muamelelere tabi tuttukten sonra değişik saklama koşullarında çimlenme performanslarına bakmışlardır. Araştırmada tohumlar, 3 °C'de ve %60 bağıl nemde, soğuk odada karanlıkta; *kuru turba içinde* (nem içeriği %35), *nemli kumda* (gelenekel) ve *ince polietilen* (PE) torbalarda olmak üzere 3 şekilde saklanmıştır. Başlangıçta palamutların nem içeriği %42 civarında ve

çimlenme kapasiteleri %63-68 olarak tespit edilmiştir. Çimlenmeler ISTA (Uluslararası Tohum Test Birliği) kurallarına göre 20 °C sıcaklık, %70 bağıl nem, 28 gün, 24 saat karanlık koşullarında gerçekleştirilmiştir. Çimlenme oranı hem radikul (kök ucu) çıkışı, hem de normal fide çıkışı esas alınarak tespit edilmiştir. Sonuçta 4 ay saklamada özellikle turba ve kum ortamında saklananlarda daha çimlenme ortamına alınmadan ön çimlenme (%49-69) gerçekleşmiştir. Bu durum, pırnal meşe gibi duyarlı rekalsitrantlarda taşınırken zarar görme, canlılık kaybı ve mantar enfeksiyonlarına yol açmakta ve başarıyı olumsuz etkilemektedir. Turba ve kum ortamında 6 ay saklama süresinden sonra çimlenme oranı %20'lere düşmüştür. Bu araştırmada en başarılı yöntem tohumların 1 yıl boyunca çimlenme kapasitesini koruduğu PE torbalarda saklanması olmuştur.

Meşe tohumlarının kolayca çimlenip iyi bir kök sistemi kurabilmeleri için organik maddesi bol, gevşek yapıda, serin bir tohum yataklarına ihtiyaçları vardır. Fidanlıkta sonbahar ekimleri ilkbahar ekimlerine tercih edilmelidir. Tohumlar çizgi metodu ile ve 5 çizgi halinde, büyüklüklerinin 1,5-2 misli derinliğe ekilmelidir (Tolay 1987a). Orman fidanlıklarında *Q. ilex* fidan üretiminde ekim derinliği 10-15 mm olarak uygulanmaktadır. Fidan yastıklarındaki çimlenme oranı %70-90 (Gültekin 2014).

Çalışkan (2014), Türkiye'nin Çanakkale, Sinop, Aydın, Muğla illerinden topladığı ve en, boy, ağırlık gibi yöresel farklılıkları bulunan *Q. ilex* tohumlarını, laboratuvar koşullarında (iklim dolabı), steril-nemli kum ortamında ve 20°C sabit sıcaklık ve 20/10°C alternatif sıcaklık (gece/gündüz)-karanlık koşulları altında çimlendirmiştir. Çimlenme oranı radikul çıkışının 5 mm jeotropizma göstermesi esas alınarak tespit edilmiştir. Çimlenme testi sonuçlarına göre pırnal meşe palamutları, sabit sıcaklık rejimlerine göre alternatif sıcaklıklarda daha iyi çimlenmiştir. Ayrıca, tohum boyutu, ağırlığı ve orjinin çimlenmede etkili olduğu belirlenmiştir.

Q. ilex tohumları diğer meşelerde olduğu gibi rekalsitrant karakter taşır. Salomón vd. (2012) değişik meşe türlerinin (*Q. suber*-%43-49, *Q. canariensis*-%46-52, *Q. faginea*-%48-54, *Q. pyrenaica*-%45-50, *Q. ilex*-%47-55-nem içerikleri) rekalsitrant karakterlerini kontrollü koşullarda kurutma deneylerine tabi tutarak karşılaştırmış ve kurutma sonrası çimlenme testlerine tabi tutmuştur. Araştırma sonuçlarına göre tüm türlerde kuruma ile birlikte canlılığın azaldığı, daha hızlı su kaybeden palamutlarda canlılığın

daha iyi korunduğu tespit edilmiştir. *Q. ilex* palamutlarının kuraklık ve saklama açısından yüksek duyarlılığa sahip; nem içeriği düştükçe çimlenme yüzdesinin diğer türlere göre daha fazla düştüğü, bu nedenle çok kısa sürede ekilmeleri gerektiği ifade edilmiştir.

3.3. Fidan Üretimi

Q. ilex'in doğal olarak yetiştiği illerden toplanan palamutların çimlenme performansını laboratuvarında belirledikten sonra, oluşan fidelerin yarısı kökçük koparılmadan, diğer yarısı da kökçüğü dikimden önce 0,5 cm uzunluğunda koparılarak 116 m yüksekliğinde ve mezotermal-nemli iklime sahip olan İstanbul-Bahçeköy fidanlıklarında dikilmiştir. Bir yetiştirme sezonu sonunda 1-0 yıllık meşe fidelerinde hayatta kalma yüzdesi oranlarında bir farklılık gözlenmezken (%62-66), kökçük kesiminin fidan morfolojisi, sürgün boyları ve kök boğazı çaplarını olumlu etkilediği kanıtlanmıştır. Ayrıca fidanlıklar denemelerinde orijinin fidan gelişiminde etkili olduğu belirlenmiştir (Çalışkan 2014).

Fizyolojik olarak ya da kök kesimi yoluyla yeni kökçük geliştiremeyen çıplak meşe fidanlarının ağaçlandırma sahalarında başarısı çok küçük kalmaktadır (Tolay 1987a). Bu durumda ağaçlandırmada daha fazla başarı sağlayacak olan tüplü fidanlar tercih edilmelidir.

Tüplerde ya da ekim yastıklarında ekilen palamutlardan üretilen fidanlar 1-2 yaşında kullanılabilir. González-Rodríguez vd. (2011) pınal meşe yapay gençleştirme çalışmasında 3 yaşlı tüplü fidan kullanmış, ancak istedikleri başarıya ulaşamamıştır. Tüplü fidan üretiminde uygulanacak tüp harcı muhtevası aşağıdaki gibi 3 örnekle detaylandırılabilir (Gültekin 2014):

1-%60-70 turba x %30-40 (3-5 mm) çam kabuğu karışımından oluşan 1 metreküp harca; 3-4 kg 2.0-1.2-1.6-0.3+ME oranlı yavaş çözünen (8-9 ay) gübre x 0,5 kg kükürt eklenir.

2-%100 turbadan oluşan 1 metreküp harca 3-4kg 2.0-1.2-1.6-0.3+ME (.00-0.52-1.28-0.24+ME benzer) oranlı yavaş çözünen (8-9 ay) gübre x 0.5kg kükürt eklenir.

3-%60-65 turba x %25 (3-5 mm) ponza x %10-15 (3-5 mm) çam kabuğu karışımından oluşan 1 metreküp harca; 2-3kg 2.0-1.2-1.6-0.3+ME oranlı yavaş çözünen (8-9 ay) gübre x 0.5kg kükürt eklenir.

Souad ve Amraoui (2020) Fas Orta Atlas bölgesinden topladıkları tohumları, yine bu alanlardan temin ettikleri azot, organik madde içeriği farklı olan 3 adet kumlu toprak yapısında *saksılara* ekerek, fidanlık/sera koşullarında fidan üretimi yapmışlardır.

Q. ilex fidanları, fidanlıkta düşük, orta ve şiddetli kuraklık stresine 2,5 ve 3,5 ay süreyle maruz bırakılmış ve kuraklık stresinin, kuraklık toleransını artırdığı, ancak kök/sürgün oranını ve yaprak biyokütlesini etkilemediği, yeni kök oluşum kapasitesini düşürdüğü tespit edilmiştir (Villar vd. 2004; Taşdemir ve Karatay 2007; Gonz'alez-Rodríguez vd. 2011).

Q. ilex subsp. *ballota* L.'da tohum büyüklüğünün, fidan morfolojik karakteristikleri, çimlenme ve fidan yüzdesi üzerinde etkili olduğu, özellikle büyük tohumlulardan daha yüksek biyokütleye sahip fidanların üretildiği belirtilmiştir (Taşdemir ve Karatay 2007; Leiva ve Ales 1998; Gonz'alez-Rodríguez vd. 2011).

Meşe fidanlıklarında üretimi yapılan fidanların 15-20 cm derinliğinde kök kesimlerinin yapılması, bol miktarda kökçük meydana gelmesini teşvik eder ve kök-sak dengesinin oluşmasını sağlar. Bu işlemten 1-2 gün evvel fidan yastıklarında sulama yapılarak toprağın tav hale gelmesi sağlanır (Tolay 1987b). İlk vejetasyonun içindeki meşe fidanının kök kesimi temmuz ayında yapılabilir. Kök kesim işleminin traktörlerin arkasına akuple edilen kök kesim bıçakları ile ya da bu yapılamıyor ise dikim sahasına gönderilmeden önce işçi ile kesilerek yapılmalıdır.

3.4. Ağaçlandırma/Yapay gençleştirme

Saatçioğlu (1960) Belgrad Ormanı koşullarındaki meşe sahalarında görülen yoğun diri örtünün engelleyici durumu, domuz ve diğer predatörlerin varlığı, yeterli tohumun sağlanamama riski gibi nedenlerle bu alanlarda ekim yerine dikimin tercih edilebileceğini ifade etmiştir. Gonz'alez-Rodríguez vd. (2011), Güney İspanya'da pırnal meşesinin (*Q. ilex* subsp. *ballota*) yavaş büyüme hızları, ilk yaz kuraklığında yüksek fidan kaybı, tohumların yüksek yırtıcı riski, düşük başarı ya da başarısızlık gibi nedenlerle çoğu kez yapay gençleştirme yöntemlerine (ekim, dikim) başvurulduğunu ifade etmişlerdir. Bunun yanında İtalya ve İspanya gibi ülkelerde doğal gençleştirme koşullarına uygun alanlarda, analizlerin iyi yapılarak pırnal meşenin tohumla ya da sürgünle başarılı bir şekilde gençleştirilebildiği bir gerçektir.

González-Rodríguez vd. (2011), 100 m yükseklikte ve %2'den küçük eğimli bir alanda doğrudan tohum ekimi, 1 ve 3 yaşlarındaki fidanların dikimi işlemleri yaparak fidan morfolojisi, büyüme ve hayatta kalma performanslarına bakmışlardır. Toprak işlemesi için, tek soklu dipkazar ve diskaro kullanılarak, 40 cm tam alanda derin sürüm yapılmıştır. Dikim aralık-mesafesi 2x2 m olarak uygulanmıştır. Palamutların ekim derinliği olarak 5 cm. uygulanmıştır. Araştırmada sulama yapılmamış, doğal yaz kuraklığı koşulları tercih edilmiştir. 1 yaşlı fidanlar, küçük tüplerde (400 cm³) yetiştirilmiş, 3 yaşlı fidanlar 3.000 cm³ kaplarda yetiştirilmiştir. Mevcut fidanların bakımı fidan etrafı elle ve fidan araları motorlu çapa makinesi ile yapılmıştır. Gübreleme, sulama, koruyucu tel kafes vb. gibi spesifik bakım tedbirleri uygulanmamıştır. Bu yapay (suni) gençleştirme denemesinde en yüksek yaşama oranı 1 yaşındaki fidanda (%60) görülmüştür. Doğrudan ekim, ilk yıl %50, ikinci yıl %33 başarı göstererek orta seviyede başarı gösterirken, en düşük yaşama oranı 3 yaşındaki *Q.ilex* fidanlarında (%25) görülmüştür. Bu araştırma sonuçlarına göre doğrudan ekim maliyet açısından avantajlıdır, derin kök gelişimi sağlar, ancak predatörlere karşı daha savunmasızdır. Fidan dikimi (özellikle 1 yaşında) daha güvenilir bir yöntemdir, predasyonu azaltır. Fidan yaşı arttıkça kök deformasyonu ve suya erişim sıkıntısı başarı oranını olumsuz etkilemektedir. Tabi ki gençleştirme hedeflerinin iyi saptanması da önemlidir, eğer amaç doğal ormanın sürekliliğini sağlamak ve kaybolan meşelikleri yeniden kurmak ise fidan dikimi (1 yaş) en uygun olan yöntemdir. Eğer amaç toprak muhafaza, ekosistem hizmetlerinin sürdürülmesi ise tohum ekimi daha uygun bir metot olabilir. Başarıyı artıracak fidanlık teknikleri uygulamak ve kaliteli fidan kullanmak kaydı ile 3 yaşındaki fidanlar da peyzaj bitkisi olarak kullanılabilir.

Meşe türleri için genel olarak önerilen aralık-mesafeler 1,0 x 1,0 m/1,60 x 1,60 m/2,5 x 1,25 m/2,0 x 1,25 m/2,0 x 2,0 m/3,0 x 1,25 m/3,0 x 1,0 m (Saatçioğlu 1960; Ürgenç 1986; Özer ve Bul 1998; Boydak ve Çalikoğlu 2006; González-Rodríguez vd. 2011). Türkiye'de tüm meşe türleri için OGM tarafından uygulanan aralık-mesafeler ise 2,0 m x 1,5 (3330 ad/ha.) olarak belirlenmiştir (OGM 2024b).

Genel olarak meşe palamudu ekim derinliği 3-4 cm ya da tohum çapının 2-3 katı önerilmekle birlikte araştırma ve uygulamalarda yöreye ve türe göre değişik derinlikler (5/5-7/6-9/5-10/3-15 cm) uygulandığı

görülmektedir. Ağaçlandırma sahalarında tohum ekimleri toprağın tavda olduğu zamanda geç sonbaharda (Kasım-Aralık) yapılır (Pamay 1966; Ürgenç 1986; Aslan 1987; Özer ve Bul 1998; González-Rodríguez vd. 2011; Tandoğan vd. 2025),

Toprak türünün uygun ve derinliğinin yeterli olduğu, pırnal meşesinin doğal yetiştiği alanlarda entansif ağaçlandırma çalışmaları yapmak mümkündür. Toprak işleme için en uygun zaman, onun uygun bir nem oranına, yani tarla kapasitesindeki nem derecesine sahip olduğu zamandır (toprağın tav hali). Ağaçlandırma sahalarının hazırlanmasının iki aşaması vardır. Bunlar diri örtü temizliği ile toprak işlemedir. Özellikle bozuk makilik alanların ağaçlandırılmasında diri örtü temizliği olarak makinin paletli ya da lastik tekerlekli traktörlere akupile edilmiş örtü temizleme targağı veya çalı doğrayıcılar ile yapılabilir. Bu gibi alanlarda örtü temizliği sırasında toprağın taşınmamasına dikkat edilmelidir. Diri örtünün boy ve yoğunluk bakımından fazla etkili olmadığı durumlarda diri örtü temizliği, toprak işleme ile yürütülür. İnsan gücüyle alan hazırlığı makine ile yapılan alan hazırlığı kadar verimli ve ekonomik değildir (Ürgenç 1986).

Toprak işleme şekilleri alanın tümünde ya da bazı bölümlerinde yapılmasına göre “tam alan” ve “kısmi” toprak işleme şeklinde yapılabilir. Tam alan toprak işleme, genellikle düşük eğimlerde ağaçlandırma alanının tamamında yapılır. Tam alan toprak işleme, genelde makine gücü ile yapılan bir işleme şeklidir. *Derin (alt) toprak işleme* ile, varsa toprak içindeki pas tabakası veya diğer sert geçirimsiz tabakalar da kırılmış olur. Alt toprak işlemede kullanılan ekipman genellikle paletli traktörlerin arkasına akupile edilen 1’li, 2’li ya da 3’lü riperlerdir. Kil oranı yüksek havalanması iyi olmayan, nemli sahalarda riperli toprak işleme kazayağı takılmış vaziyette yapılarak toprağın alt-üst edilmesi gerekebilir. Eğer toprak paletli traktör ile delinebilir-parçalanabilir kayalık-taşlık alanlardan oluşuyor ise bu taktirde paletli traktöre akupile edilen tek riperli dip kazarlar ya da kök sökücülerden yararlanılır.

Kumlu topraklarda %0-20 eğimde paletli traktör yerine 4x4 lastik tekerlekli traktöre akupile edilen 2 soklu riper pulluk ya da diskaro ile toprağın 35-45 cm tam alan ya da gradoni teras şeklinde işlenmesi yeterli olabilir. Eğimin %21-40 olması durumunda ise lastik tekerlekli traktör (LTT) yerine 2’li/3’lü riperli paletli traktör kullanılmalıdır.

%20'ye kadar olan meyillerde 0-30 cm derinliğe kadar yapılan toprak işlemesi “*üst toprak işlemesi*” olarak tanımlanmaktadır. Alt toprak işlemesi yapılmış alanlarda üst toprak işlemesi genellikle ağır diskaro ile yapılır. Alt toprak işlemesi yapılan, eğimi %40'a kadar olan sahalarda, kapilaritenin kırılması ve teras formu verilerek dikim ve bakımda kolaylık sağlanması amacıyla ihtiyaç duyulan yerlerde 80-110 HP 4x4 LTT ile çekilen 2 soklu riper pulluk ile tesviye eğrilerine paralel, bir geçişte 35-45 cm derinlikte 80-100 cm genişlikte, gradoniler şeklinde toprak işlemesi yapılabilir. Bu da aslında bir nevi üst toprak işlemedir.

Geleneksel olarak makineli çalışma (paletli traktör-dozer, lastik tekerlekli traktör-LTT vb.) %40 eğime kadar yapılabildiğinden bu eğimden sonra işçi ile teras yapımı öne çıkmaktadır. Ancak son zamanlarda eğimin %40'tan fazla olduğu alanlarda arazi şartları, diri örtü boyu ve yoğunluğu dikkate alınarak BUROR Teras gibi yöntemlerle 60-100 cm derinlikte ve içe doğru %25-30 eğimli teraslar inşa edilerek ekim ya da dikimler bu teraslar üzerinde yapılabilmektedir (Tandoğan vd. 2020).

Toprak işlemesi yapılmış teras-gradoni ya da ocaklara kazma ya da çapa ile çukurda kenar ya da çukur dikimi ile; fidanlıklarda yetiştirilmiş, orijini belli 1-2 yaşındaki çıplak ya da tüplü meşe fidanları dikilebilir. Gerekğinde 2. ve 3. vejetasyonda tamamlama yapmak suretiyle başarı oranının artırılması sağlanır. Dikimlerin vejetasyon mevsimi dışında, toprağın tavadı olduğu sonbahar döneminde dikilmesi uygundur.

Dikim yapılan alanlarda fidan etrafında ot alma (OA) ve çapalama (Ç) işlemleri, dikimi takip eden vejetasyon dönemi başında, en son ilkbahar yağışlarından sonra ve yabancı ot tohumları olgunlaşıp dökülmeden önce bitirilmelidir. Meşe alanlarında bakım faaliyetlerinin zamanında yapılmaması gençleştirme/ağaçlandırmanın başarısızlığına yol açabilir. Özellikle alandan uzaklaştırılan meşe ve diğer odunsu bitkilerin toprakta kalan kök ve gövde gibi kısımlarından gelişen sürgünlerin fidanlara baskı yapmasının (boğma tehlikesi) önlenmesi ve fidanların güneş ışığından daha iyi faydalanması için ihtiyaç duyulan yerlerde sürgün kontrolü (SK) yapılması çok önemlidir (Tandoğan vd. 2020). Fidan aralarına makinenin girmesi halinde makineli bakım yapılabilir. Bunun için traktörlerin arkasına akuple edilen kültivatörler, diskaro, pulluk gibi ekipmanlar kullanılabilir. Bakım çalışmaları fidan ihtiyacına göre 7 yıla kadar yapılabilir (Özer ve Bul 1998). Fidanlar biyolojik

bağımsızlığını kazanıncaya kadar koruma (K) tedbirleri (tel çit, bekçi vb) ihmal edilmemelidir.

Pırnal meşe toprak ve suyun korunmasında hayati bir rol oynar (Shakesby vd. 2002; Plieninger vd. 2003; Linan vd. 2011; Çalışkan 2014). Kök sistemi derinlere inebilen ve yan kök geliştirebilen türün, Akdeniz Bölgesi'nin yağış rejimi ve toprak yapısı da dikkate alındığında (De Rigo ve Caudullo 2016) erozyona açık eğimli alanlarda-toprak muhafaza ağaçlandırmalarında ve doğal yetiştirme alanlarındaki fizyolojik derinliğe haiz, kalker ana kayalı topraklarda kullanılması mümkündür.

Yetiştirme alanlarında savunmasız alanların çitle çevrilmesi ve bu alanlarda tarımsal genişlemenin sınırlandırılması dahil, iklim değişikliği ve diğer nedenlerle bozulmanın halihazırda meydana geldiği yerlerde rehabilitasyon çalışmaları uygulanmalıdır (Çalışkan 2014; Wikipedia 2025).

Pırnal meşesi, kuvvetli rüzgarları ve hava kirliliğini tolere edebildiği için parklarda ve rekreasyon alanlarında genellikle çit olarak kullanılan, yaygın olarak tercih edilen budamaya uygun bir peyzaj bitkisidir (Fischer ve Colinas 1996).

Ekimlerde tohumların toplandığı popülasyon, tohumların ayıklanması ve yaban hayvanlarından korunması önemlidir. Arazide sahanın korunması, fidanların yabancı ot alımı, çok kurak zamanlarda sulama, önerilen bakım tedbirleridir (González-Rodríguez vd. 2011). Ekimlerde başarıyı engelleyen, çabaları sınırlayan (Ürgenç 1986) kemiricilere (fare, sincap) karşı meşe tohumunun kil ve doğal-doğala özdeş kovucular ile kaplanması çimlenme başarısı ve hayatta kalma oranını artırdığı belirlenmiştir (Tandoğan vd. 2025).

Tür gölgeye toleranslı bir türdür ve örtü altındaki koşullarda gençleşebilir ve ileri yaşlarda baskın hale gelebilir; ayrıca kuvvetli kök sürgünü verme yeteneğine sahiptir (De Rigo ve Caudullo 2016).

Amenajman planlarında, uygulamada ve orman arazisi tahsislerinde kaba pırnalı diğer türlere göre olumsuz etkileyecek çalışma ve uygulamalara yer verilmemelidir. Örneğin İzmir-Urla-Çeşme civarındaki bireyleri genellikle genç ağaçlardan oluşması bu alanın kızılçam gençleştirme/ağaçlandırma çalışmaları esnasında kesilmiş olduğu düşündürmektedir. Odunu çok sert ve dayanıklı olan, verimli alanlarda hızlı gelişen bu tür ormancılık faaliyetlerinde mutlaka dikkate alınmalı, karışıma girdiği alanlarda ağaçlandırmalarda bu tür lehine bir ormancılık faaliyeti uygulanmalıdır (Akkemik vd. 2022).

3.5. Auto/Hetero/Mikro Vejetatif Üretim

Pırnal meşesi kök ve kütük sürgünü verme yeteneğine sahiptir (Pavari 1961, Meyer 1969). La Marca vd. (1998), Güney İtalya'da %40 eğimli ve 45 yaşındaki sürgün kökenli bir pırnal meşesi meşceresinde hektarda az sayıda rezerv ağaç bırakılan (50 adet) parsellerde daha çok, kalın ve uzun sürgünler tespit etmişlerdir. İlk yıl yapılan kesim sonrasında kök/kütüklerden (stumps) sürgünler çıkmaya başlamış, ilk yıl hemen hemen tüm kütüklerde sürgünler oluşmuş, ikinci yıl her kütükteki sürgün ortalaması 27-36 adet tespit edilmiştir. İkinci yıl bir yandan sürgünlerin %35'i anomali büyüme ya da gölgede kalma gibi nedenlerle ölerken bir yandan da yeni sürgünler çıkmıştır. İkinci yıl sonunda sürgün boylarının 120 cm'nin üzerine çıktığı görülmüştür.

Bir başka araştırmada (Crescente vd. 2002) *Q. ilex*'in iki farklı iklim koşulunda (*Akdeniz klimaks alanı*-Roma -yazları sıcak ve kurak/*Kuzey İtalya-Nago-Trento*-daha soğuk kışlar ve daha sık don olayları) sürgün gelişimleri incelenmiştir. Araştırma sonucunda güneydeki Akdeniz klimaks alanında daha uzun büyüme periyodu ve daha verimli, uzun sürgün gelişimi, daha büyük yaprak yüzeyi tespit edilmiştir.

İtalya'da yapılan bir denemede kontrole göre baltalık olarak kesim yapılan yerlerin gelişimi 2 yıl boyunca baltalık alanının yapısına göre olumlu değişim göstermiştir (La Marca vd. 1998).

Pırnal meşesi doku kültürü veya çelikle üretilebilir (La Marca vd. 1998; Martinez vd. 2017; Teresa, 2021). Meşe, epizodik büyüme alışkanlığına sahip odunsu bir bitki olduğundan in vitro kurulumu zordur. Ayrıca, pırnal meşesinin in vitro kültüründe genotip, hem stabilizasyon hem de köklenme aşamasında büyük ölçüde etkilidir. Teknik zorlukların yanında, yüksek maliyet, uzun vadede genetik çeşitliliğin azalması riski gibi hususlar doku kültürüne karar vermede etkilidir (Cernadas vd. 2018). Tüm bu kısıtlara rağmen pırnal meşesinin doku kültüründe başarı sağlanmıştır.

Martinez vd. (2017) olgun *Q. ilex* ağaçlarının taç dallarından alınan sürgünleri (WPM, GD) ortamlarında in vitro kültüre almış, (BA ve zeatin) ile çoğaltma sağlamıştır. Çeşitli ortam faktörleri test edilmiş (agar tipi, sakkaroz dozu, etilen inhibitörleri-AgNO₃ ve STS), en iyi sonuç yüksek sakkaroz (30 g/L) ve STS eklenen ortamdan alınmıştır. Köklenme aşamasında sürgünler IBA+NAA ile muamele edilmiş, ancak köklenme oranlarının düşük olduğu

vurgulanmıştır. Bu araştırmada ilk kez olgun *Q. ilex* bireylerinden in vitro çoğaltma mümkün olmuştur.

Cernadas vd. (2018) genç materyal kullanarak *Q. ilex*' in vitro çoğaltılması ve korunmasını başarıyla gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada *Q. ilex* palamutları çimlendirilerek 3 aylık fidanlardan yan tomurcuklar alınarak doku kültüründe çoğaltılmıştır. Çoğaltma aşamasında sitokinin hormonları (BA ve zeatin) kademeli olarak 6 hafta boyunca uygulanmış, daha sonra elde edilen sürgünlerde *köklenme*, auxin hormonları (IBA+NAA) ile sağlanmıştır. Sonuçta laboratuvar ortamında, genetik olarak aynı, sağlıklı ve kabul edilebilir oranda köklenme sağlayan fidan üretilmesi mümkün olmuştur.

Li vd. (2019), in vitro ve ex vitro koşullarında pırnal meşesini doku kültürü ile çoğaltmayı denemişlerdir. Laboratuvar koşullarında (WPM + 1.0 mg/L IBA+ aktif kömür) düşük (%41,5) ve sağlıklı köklenme oranı elde edilmiştir. Çoğaltılmış sürgünler doğrudan torf/perlit karışımı ortamına dikildiğinde (500 mg/L IBA çözeltisine batırılıp) daha çok ve sağlıklı kökler elde edilmiştir.

Bonfil vd. (2004), Katalonya'da (İspanya) 1994 ve 1998'deki çok büyük yangın alanlar sonrasında yaptıkları araştırmada hem bu mevcut yangın sonrasında hem de deneysel yakma uygulayarak pırnal meşesinin hayatta kalma-yenilenme potansiyelini incelemişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre *Q. ilex* bireylerinin yangından sonra %99'dan fazlası canlı kaldığı yani, yani türün çok yüksek yenilenme yeteneğine sahip olduğu kanıtlanmıştır. Portekiz'de pırnal meşesinin doğal yayılış alanlarında bu türün yerine çam türleri kullanıldığında, bu bölgelerde yangın riskinin arttığı ifade edilmiştir (Schirone vd. 2019).

Pırnal meşesi, aşı denemelerinde anaç olarak kullanılmıştır (Matteini Tranquillo 2023), meşelerde aşı tutma oranının düşük olsa da (Aydın vd. 2013) denenmesi mümkündür.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Portekiz, İspanya gibi ülkelerde, yakın zamanda 20 yıldan daha kısa döngülerle baltalık olarak işletilen pırnal meşe ormanlarının günümüzde koru ormanı olarak işletildiği, genetik kaynakların korunması için sürgün ya da tohumla doğal gençleştirme yapıldığı ve eğer doğal gençleşme koşulları yetersizse, genetik çeşitliliği yüksek tohum kaynaklarından fidan üretimi

yoluyla yapay gençleştirme/ağaçlandırma yapıldığı bilinmektedir. Türkiye’de deniz etkisi altında bulunan, bozuk meşe alanlarının, öncelikle yerli türlerle ve yoğun kültür metotları kullanılarak verimli hale getirilmesi önemlidir. Bu anlamda Akdeniz ve Ege’de pırnal meşesinin doğal olarak yayıldığı, bozulmuş alanlarda rehabilitasyon ya da yapay gençleştirmeler ile bu alanların verimli hale getirilmesi mümkün olabilecektir.

Katalonya’da (İspanya) büyük yangınlardan sonra pırnal meşesinin hayatta kalma-yenilenme potansiyelinin %99 olduğu ve Portekiz’de yapılan araştırmalarda pırnal meşesinin doğal yayılış alanlarında, bu türün yerine çam türleri kullanıldığında, bu bölgelerde yangın riskinin arttığı belirlenmiştir. Akdeniz havzasında türün doğal olarak yayılış gösterdiği yangın görmüş alanlarda -ibrelielerin alternatifi olarak değil- ama ibreliyle karışım yapabilecek bir tür olarak, en azından belirli bir oranda (%20-30) pırnal meşe plantasyonunun yapılması, ileride çıkacak yangın risklerinin önlenmesi açısından faydalı olacaktır. Türün önümüzdeki on yıllarda iklim değişikliğinin de olası etkileriyle ibreli ormanlarda karışım yapabilecek destekleyici bir tür olarak ele alınması ve ağaçlandırma/yapay gençleştirme yöntemleriyle yaygınlaştırılması, araştırmacı ve uygulamacıların çalışması gereken konularından biri olacaktır.

Akdeniz Bölgesi’nin soğuk kışlarına ve yaz kuraklığına karşı oldukça dayanıklı olan bu türün Türkiye’de yalnızca bir adet tohum plantasyonu bulunmaktadır. Bu nedenle bu türün tohum kaynakları (tohum plantasyonu, gen koruma ormanı, tohum bahçesi) daha çok artırılmalı ve geliştirilmelidir. Pırnal meşesi yayılış alanları, hem deniz etkisinin olduğu alanlar olması, hem de daralma eğilimi göstermesi nedeniyle mutlaka koruma altına alınmalıdır.

İspanya’da pırnal meşe palamutlarına yapay gençleştirme/ağaçlandırma sahalarında uygulanan 5 cm ekim derinliği ve 2x2 aralık-mesafe bilgisi yanında Türkiye’de yeni araştırmalarla değişik aralık-mesafelerin çimlenme ve büyüme üzerindeki etkisi incelenmelidir.

Çeşitli araştırmalarda pırnal meşesi ormanlarının iklim ve toprak özellikleri ortaya konulmuş olsa da Türkiye’de, türün bulunduğu meşcerelerin yapısı ve parametrelerinin detaylı bir şekilde ortaya konulması gerekliliği de araştırmacılarca açıklanmıştır. Türün doğal yetiştirme alanlarında, en önemli yetiştirme ortamı olan toprakla ilgili sınırlı bilgilerin giderilerek,

ağaçlandırma/yapay gençleştirme ve park/bahçe tasarımı yapılacak yeni alanlar için bu bilgilerden yararlanılması kolaylık sağlayacaktır.

Pırnal meşesinde teknik zorluklar, yüksek maliyet, uzun vadede genetik çeşitliliğin azalması, in vitro kurulumunun zorluğu, genotip gibi birçok faktörü dikkate alan mikro çoğaltım koşullarının optimize edilmesi amacıyla daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

Park, bahçe ve rekreasyon alanlarında bir peyzaj bitkisi olarak değerlendirilen, herdem yeşil ve yüksek yenilenme yeteneği olan pırnal meşesinin bazı Akdeniz ülkelerinde agroforestry/silvo-pastoral sistemler (palamutlar, sevilen bir hayvan besinidir) ve trüf ormanları için en çok tercih edilen türlerden biri olduğu açıklanmıştır. Türün bu amaçla kullanımı için, yayılış gösterdiği bölgelerde, pilot alanlar tespit edilip uygulama çalışmaları yapılmalıdır.

Türkiye’de yeteri kadar tanınmayan bu türe ait alanların Orman Genel Müdürlüğü tarafından envanterinin çıkarılması ve önemine uygun bir şekilde planlanması ve işletilmesi en uygun tercih olacaktır.

KAYNAKÇA

- Akkemik, Ü. (2007). *Dendroloji ders notları*. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Botanığı Ana Bilim Dalı.
- Akkemik, Ü. (2016). Türkiye'nin doğal meşe (*Quercus* L.) türlerinin yayılışı ve botanik özellikleri. *Uluslararası katılımlı 1. Meşe Çalıştayı, Çalıştay Bildirileri*, 83-94, OGM-MOAEM, İğneada, Kırklareli.
- Akkemik, Ü., Sevgi, O., Yılmaz, H., Sevgi, E. & Yılmaz, Y. (2019). Herdem yeşil meşelerin Türkçe adları üzerine bir değerlendirme. *Avrasya Terim Dergisi*, 7(1), 26-33. <https://doi.org/10.31451/ejatd.640106>
- Akkemik, Ü., Yılmaz, O. Y., Yılmaz, H., Sevgi, O., Sevgi, E., Akarsu, F. & Doğan, H. (2020). *Quercus ilex* türünün Türkiye'deki mevcut yayılışı, yeni yayılış alanlarının tespiti ve değerlendirmesi. *Eurasian Journal of Forest Science*, 8(3), 195-220. <https://doi.org/10.31195/ejejfs.786041>
- Akkemik, Ü., Sevgi, E., Yılmaz, O. Y., Sevgi, O. & Yılmaz, H. (2022). *Pırnal meşesinin (Quercus ilex L.) Türkiye'deki yayılışı, vejetasyon yapısı ve ağaç gelişiminin saptanması ve farklı yetiştirme ortamı koşullarıyla ilişkilerinin belirlenmesi*. TÜBİTAK-TOVAG 117O982. <https://doi.org/117O982/ejejfs>
- Ankaya, Ü. F. (2007). *Kaynaklar (Buca/İzmir) çevresinin doğal bitki örtüsü dağılımı ile toprak özellikleri arasındaki ilişkilerin GIS ve uzaktan algılama teknikleri kullanılarak belirlenmesi üzerine bir araştırma*. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. [Yüksek Lisans Tezi]. Erişim Adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=hK46f_5pFyVJ0LEBq3LgYg&no=WaWeyOMZEiOsCVek2c_KcA
- Aslan, S. (1987). *Meşede tohum ekimi ve fidan dikimi hakkında rapor*. Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Ankara.

- Aydın, İ., Sarı, M. B., Dağ, M., Torun, M. & Baygıner, R. (2013). *Tarım alanı, Üretim ve Çoğaltma Teknikleri*. Milli Eğitim Bakanlığı, Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Ders Kitabı. Yayın No: 8085.
- Barbero, M., Loisel, R. & Quezel, P. (1992). Biogeography, ecology and history of Mediterranean *Quercus ilex* ecosystems. *Vegetatio*, 99, 19-34.
- Baytop, T. (2007). *Türkçe bitki adları sözlüğü*. Türk Dil Kurumu, üçüncü baskı, Ankara.
- Bedevian, A. K. (1936). *Illustrated polyglottic dictionary of plant names: in Latin, Arabic, Armenian, English, French, German, Italian and Turkish languages, including economic, medicinal, poisonous and ornamental plants and common weeds*. Argus & Papazian Press. London.
- Bonfil, C., Cortés P., Espelta J. Maria. & Retana J. (2004). The role of disturbance in the co-existence of the evergreen *Quercus ilex* and the deciduous *Quercus cerrioides*. *Journal of Vegetation Science*. 15(3), 423- 430.
- Boydak, M. & Çalikoğlu, M. (2006). *Yarı kurak alan ağaçlandırmalarında dikim aralıkları. Türkiye’de Yarı Kurak Bölgelerde Yapılan Ağaçlandırma ve Erozyon Kontrolü Uygulamalarının Değerlendirilmesi Çalıştayı*, 7-10, Ürgüp, Nevşehir.
- Boydak, M. & Çalışkan, S. (2014). *Ağaçlandırma, Ormancılığı Geliştirme ve Orman Yangınları ile Mücadele Hizmetlerini Destekleme Vakfı*, İstanbul.
- Campelo, F., Nabais, C., Garcia-Gonzales, I., Cherubini, P. Gutierrez, E. & Freitas, H. (2009). Dendrochronology of *Quercus ilex* L. and its potential use for climate reconstruction in the Mediterranean region. *Canadian Journal of Forest Research*, 39, 2486–2493.
- Cernadas M. J., Martínez M. T., Corredoira E. & y San José M. d. C. (2018). Conservation of holm oak (*Quercus ilex*) by in vitro

- culture. *Mediterranean Botany*, 39(2), 97-104.
<https://doi.org/10.5209/MBOT.60779>
- Crescente, M. F., Gratani L. & Larcher, W. (2002). Shoot growth efficiency and production of *Quercus ilex* L. in different climates. *Flora*, 197(1), 2-9. <https://doi.org/10.1078/0367-2530-00007>
- Çalışkan, S. (2014). Germination and seedling growth of holm oak (*Quercus ilex* L.): effects of provenance, temperature, and radicle pruning. *Italian Society of Silviculture and Forest Ecology* 7, 103-109.
<https://doi.org/10.3832/ifer0967-007>
- ÇEM (2013). *Kurak ve yarı kurak alanlarda ağaçlandırma ve rehabilitasyon rehberi taslak metin*. Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü. Türkiye.
- De Rigo, D., & Caudullo, G. (2016). *Quercus ilex* in Europe: Distribution, habitat, usage and threats. In J. San-Miguel-Ayanz, D. de Rigo, G. Caudullo, T. Houston Durrant, & A. Mauri (Eds.), *European atlas of forest tree species* (pp. 52–153). Publications Office of the European Union.
- Durmuşkaya, C. (2006). *Ege Bölgesi'nde doğal yayılış gösteren ağaç ve çalılar*, 216 s, Ankara.
- Fischer, C. & Colinas, C. (1996). *Methodology for certification of Quercus ilex seedlings inoculated with Tuber melanosporum for commercial application*. [Poster Presentation] 1st International Conference on Mycorrhizae. Berkeley, California, U.S.A.
- Fotelli, M. N., Radoglou, K. M. & Constantinidou H. I. A. (2015). Water stress responses of seedlings of four Mediterranean oak species. *Tree Physiology* 20, 1065–1075, 2000 Heron Publishing-Victoria, Canada.
- Genç, M. (2020). *Süs bitkisi yetiştiriciliği*. Musa Genç Kitaplığı. Bilimsel Yayınlar. E- Kitaplar Serisi. No: 9. Giresun.

- González-Rodríguez, V., Navarro-Cerrillo, R. M. & Villar, R. (2011). Artificial regeneration with *Quercus ilex* L. and *Quercus suber* L. by direct seeding and planting in southern Spain. *Annals of Forest Science*, 68, 637–646.
- Gültekin, H. C. (2014). *Önemli orman ağaçlarının fidan üretim teknikleri*. Orman Genel Müdürlüğü, Kavak ve Hızlı Gelişen Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü. Çeşitli Yayınlar Serisi No: 26-274. ISSN 1300-395X. İzmit.
- Günel, N. (2003). Türkiye’de sınırlı yayılışlı bir meşe türü: *Quercus ilex* (Pırnal meşesi). *Öneri*, 5(19), 191-197.
- Günel, N. (2011). *Pırnal meşesinin (Quercus ilex) Türkiye’de coğrafi yayılışı, ekolojik ve floristik Özellikleri*. (Ed: Deniz Ekinci) Fiziki Coğrafya Araştırmaları: Sistematik ve Bölgesel. Türk Coğrafya Kurumu Yayınları No: 6: 267-278.
- Jansson, N., Avcı, M., Kayış, T., Coşkun, M., Sarıkaya, O., Öncül Abacıgil, T., Varlı, S. V., Tezcan, S., Türkay, O., Sunnergren, A., Aytar, F. & Bergener, A. (2016). *Türkiye Meşelerinde (Quercus spp.) Kuşların ve Böceklerin Çeşitliliği- Gelecekteki Silvikültürel Planlamaya İlişkin Düşünceler. 1. OGM, Marmara Ormancılık Araştırma Enstitüsü Uluslararası Katılımlı Meşe Çalıştayı, İğneada, Kırklareli*, s: 95-114.
- Kantarcı, D. (2023). *Toprağın Özellikleri*. <https://docplayer.biz.tr/12554872-4-topragin-ozellikleri.html>. Erişim Tarihi: 25.09.2023.
- Kasaplıgil, B. (1952). Türkiye’de Akdeniz iklim tipinin hakim olduğu bölgelerde orman vejetasyonu. *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, 2(2), <https://doi.org/10.17099/jffiu.71019>
- Kasaplıgil, B. (1992). *Türkiye’nin geçmişteki ve bugünkü meşe türleri*. T.C. Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü Yayını, No: 675, Seri: No: 70, OGM Matbaası, Ankara.

- La Marca, O., Marziliano, P. A. & Moretti, N. (1998). Experimental research in ageing holm oak (*Quercus ilex* L.) coppices: Preliminary results. *Annal of Forest Science*, 55, 461–476.
- Leiva, M. J. & Ales, R. F. (1998). Variability in seedling water status during drought within a *Quercus ilex* subsp. *ballota* population, and its relation to seedling morphology, *Forest Ecology and Management*, 111, 147-156.
- Li, Q., Gu, M. & Deng, M. (2019). In vitro propagation of oriental white oak *Quercus aliena* Blume. *Forests*, 10(6), 463. <https://doi.org/10.3390/f10060463>
- Linan, J., Cantos, M., Troncoso, J., Garcia, L. J., Fernandez, A. & Troncoso, A. (2011). Some propagation methods for cloning holm oak (*Quercus ilex* L.) plants. *Central European Journal of Biology*, 6(3), 359-364. <https://doi.org/10.2478/s11535-011-0007-y>
- Martínez, M. T., Corredoira, E., Vieitez, A. M., Cernadas, M. J., Montenegro, R., Ballester, A., Vieitez, F. J. & San-Jose. M. C. (2017). Micropropagation of mature *Quercus ilex* L. trees by axillary budding. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 131, 499-512. <https://doi.org/10.1007/s11240-017-1300-x>
- Matteini Tranquillo (2023). *Quercus ilex Matteini. Skills and main features*. <https://www.matteinitranquillopiante.it/quercus-ilex-matteini/> Erişim Tarihi: 05.10.2023.
- Meyer, F. H. (1969). *Quercus ilex* in Kleinasien, *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft*, 82 (7-8), 88. 505-519.
- OGM (2024a). *Orman Genel Müdürlüğü resmi istatistikler–2024*, <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane/resmi-istatistikler>. Ankara.
- OGM (2024b). *Silvikültür uygulamalarının teknik esasları. Dikimde kullanılacak aralık-mesafeler*. Tebliğ No: 317. Silvikültür Daire Başkanlığı. Ankara.

- OGM (2025). Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, *Islah Tesisleri*. <https://www.ogm.gov.tr/ortohum/yayinlarimiz/islah-tesisleri>. Erişim Tarihi: 23.08.2025.
- Olarieta, J. R., Bargués Tobella, A., Rodríguez-Ochoa, R. & Antúnez, M. (2017). Soil control over the distribution of Mediterranean oakforests in the Montsec mountains. *Geoderma* 291, 11–20.
- Özalp, G. (1993). Datça (Reşadiye) Yarımadası'nın bitki toplulukları, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, 43 (2), A Serisi, 77-99.
- Özel, N., Albayrak, A. N., Altun, N., Öner H. H. & Akbin, G. (2006). *Ege Bölgesi maki alanlarında bitki toplulukları ile yetişme ortamları arasındaki ilişkiler*. Ege Ormancılık Araştırma Müdürlüğü Teknik Bülten No: 31; Bakanlık Yayın No: 32; Müdürlüğü Yayın No: 40. ISSN 1300-9508, İzmir.
- Özel, N., Öner H. H., Akbin, G. & Altun, N. (2012). Ege Bölgesi maki alanlarında bitki toplulukları ve Akdeniz ekosistemlerindeki yeri. *I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu*. 26-28 Ekim 2011. *KSÜ Doğa Bil. Der.*, Özel Sayı. Kahramanmaraş.
- Özel, H. B., Tandoğan, M., Şahin, N., Aslan, V., Özdemir, M. & Şevik, H. (2023). Assessment of afforestation activities in Thrace Region using some oak (*Quercus* sp.) varieties. *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences*, 9(2), 53-60. <https://doi.org/10.55385/kastamonujes.1342754>
- Özer, A. E. & Bul, M. (1998). *Meşe ve Meşe Ağaçlandırması*. Tema Vakfı Yayınları, No: 21. Ankara.
- Pamay, B. (1966). Doğu Anadolu ve orman durumu, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, 16(2), 1-2.
- Pasquini S, Braidot E, Petrusa E. & Vianello A. (2011). Effect of different storage conditions in recalcitrant seeds of holm oak (*Quercus ilex* L.) during germination. *Seed Science and Technology*, 39, 165-177.

- Paton, D., Garcia-Herrera, R., Cuenca, J., Galavis, M. & Roig, F. (2009). Influence of climate on radial growth of holm oaks (*Quercus ilex* subsp. *ballota* Desf.) from SW Spain. *Geochronometria*, 34, 49–56. <https://doi.org/10.2478/v10003-009-0017-1>
- Pavari, A. (1961). *Akdeniz Bölgesi'nde ormancılığın ekolojik ve teknik esasları*, Fakülteler Matbaası, İstanbul.
- Pérez-Ramos, I. M., Calcerrada, J. R., Ourcival, J. M. & Rambal, S. (2013). *Quercus ilex* recruitment in a drier world: A multi-stage demographic approach. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 15(2), 106-117. <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2012.12.005>
- PFAF (2025). *Plants for a future. Quercus ilex*. <https://pfaf.org/u ser/plant.aspx?LatinName=Quercus+ilex>.
- Plieninger, T., Pulido, J. F. & Konold, W. (2003). Effects of land-use history on size structure of holm oak stands in Spanish dehesas: implications for conservation and restoration. *Environmental Conservation* 30(1), 61-70. <https://doi.org/10.1017/S0376892903000055>
- Quézel, P. (1979). Analysis of the flora of mediterranean and saharan Africa. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 65, 479-534.
- Rambal, S. (1984). Water balance and pattern of root wa-ter uptake by a *Quercus coccifera* L. evergreen scrub. *Oecologia* 62;18–25.
- Saatçioğlu, F. (1960). Belgrad Ormanı'nda çeşitli aletlerle yapılan meşe dikimlerine ait denemeler ve sonuçları. *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, XA, 1-10.
- Saatçioğlu, F. (1961). *Orman ağacı tohumları*. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No: 895, O. F. Yayın No: 66, Kutulmuş Matbaası, İstanbul.
- Sabaté, S., Gracia, C. A. & Sánchez, A. (2002). Likely effects of climate change on growth of *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* and *Fagus sylvatica* forests in the Mediterranean

- region. *Forest Ecology and Management*, 162, 23–37.
[https://doi.org/10.1016/s0378-1127\(02\)00048-8](https://doi.org/10.1016/s0378-1127(02)00048-8)
- Sabuncu, R. (2002). Meşe ormanlarımıza genel bir bakış ve kasnak meşesi örneği. *Batı Akdeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 4, 55-70.
- Salomón, R., Lorenzo, Z., Valbuena-Carabaña, M., Nicolás, J. L. & Gil, L. (2012). Seed recalcitrant behavior of Iberian *Quercus*: A multi species comparison. *Austrian Journal of Forest Science*, 129, 182–201.
- Schirone, B., Vessella, F. & Varela, M. C. (2019). *EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for holm oak (Quercus ilex)*. European Forest Genetic Resources Programme, European Forest Institute.
- Shakesby, A. R., Coelho, A. O. C., Schnabel, S., Keizer, J. J., Clarke, A. M., Contador, L. F. J., Walsh, D. P. R., Ferreira, D. J. A. & Doerr, H. S. (2002). A ranking methodology for assessing relative erosion risk and its application to dehesas and montados in Spain and Portugal. *Land Degradation and Development*, 13, 129-140. <https://doi.org/10.1002/ldr.488>
- Souad E-M. & Amraoui M. B. (2020). Effect of soil properties on growth of *Quercus ilex* L. in humid and cold mountains of Morocco. *Applied and Environmental Soil Science*, 2020, e8869975.
<https://doi.org/10.1155/2020/8869975>
- Şahin, A. (2016). *Marmara Bölgesi'ndeki meşe ormanlarının yayılışı, işletme amaçları ve planlanması. Orman Genel Müdürlüğü, Marmara Ormancılık Araştırma Enstitüsü, 1.Uluslararası Katılımlı Meşe Çalıştayı Bildiriler Kitabı*, s: 27-51, 18-20 Ekim 2016, İğneada-Kırklareli.
- Şahin, A., Tandoğan, M. & Şahin, N. (2016). *Marmara Bölgesinde Meşcere Kuruluşu Oluşturan Meşe Türlerinin Biyolojisi, Yayılışı, Yetiştirme Ortamı Özellikleri, Planlanması ve Bazı Silvikültürel Özellikleri*

- [Poster Sunumu]. *1.Uluslararası Katılımlı Meşe Çalıştayı*. Demirköy, Kırklareli /Türkiye.
- Tandoğan, M., Özdemir, M., Aslan, V., Şahin, N., DüNDAR, M., ÇETİN B., ŞENEL, R. & ALA, B. 2020. Bursa Yöresindeki Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ve Fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.) Ağaçlandırmalarının Başarısı Açısından BUROR Terasların Değişik Teras Uygulamaları ile Karşılaştırılması. OGM-MOAEM. [Yayımlanmamış proje raporu] No:10.1301/2013-2018-2019.
- Tandoğan, M., Özdemir, M., Aslan, V., Hacıyusufoğlu, A. F., Ayhan Kul, A., Şen, E., Polatoğlu, K., Oran, D. S., Arıcıoğlu, F., Turan İ. & Atmaca, S. (2025). Development of sessile oak [*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.] seed coating material against rodents and evaluation of its performance on seed germination and emergence. *Journal of Forest Science*, 71(9), 417-425. <https://doi.org/10.17221/42/2025-JFS>
- Taşdemir, C., & Karatay, H. (2007). *Elazığ Yöresinde İran palamut meşesi (Quercus brantii Lindl.) ve saçlı meşe (Quercus cerris L.)’de bazı fidanlık ve ağaçlandırma tekniklerinin araştırılması*. Güneydoğu Anadolu Ormancılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Araştırma Bülteni. 23049. Elazığ.
- Teresa, M. S. M. (2021). *Micropropagation of holm oak by axillary budding and somatic embryogenesis*. International Doctoral School of the USC. [Doktora Tezi]. Santiago University.
- Tolay, U. (1987a). *Meşe Fidanı Yetiştirme Tekniği*. Kavak ve Hızlı Gelişen Yabancı Tür Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü Dergisi. Talat Matbaacılık, İzmit.
- Tolay, U. (1987b). *Yapraklı Tür Orman Ağaçları Fidanlık Tekniği*. Kavak ve Hızlı Gelişen Yabancı Tür Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü. Teknik Bülten No:140, İzmit.

- Tunçtaner, K., Özel, H. B. & Ertekin, M. (2007). Bartın yöresindeki ağaçlandırma alanlarında kullanılan yerli ve yabancı türlerin adaptasyon yetenekleri üzerine araştırmalar. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 9(11), 11- 25.
- Ürgenç, S. (1986). *Ağaçlandırma Tekniği*, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları 3314(375).
- Villar, P., Planelles, R., Olier, J., Penuelas, J. L., Jacobs, D. F. & Gonzalez, M. (2004). Drought tolerance and transplanting performance of holm oak (*Q. ilex*) seedlings after drought hardening in the nursery, *Tree Physiology*, 24, 1147-1155.
- Wikipedia (2025). *Quercus ilex*. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Quercus_ilex&oldid=1306457829. Erişim tarihi: 26.08.2025.
- Yaltırık, F. (1984). *Türkiye Meşeleri Teşhis Kılavuzu*. Orman Genel Müdürlüğü Yayını, Yenilik Basımevi, İstanbul.

BÖLÜM 6

***Tuber aestivum* Vittad.’un KIZILÇAM VE KARAÇAM FİDANLARINDA TUTMA BAŞARISININ TAYİNİ VE FİDAN PERFORMANSINA ETKİSİ**

Orman Yüksek Mühendisi Zeynep ÇİÇEKLİ¹

Dr. Hakan DEMİRBAĞ¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17737188>

¹ Orman Toprak ve Ekoloji Araştırmaları Enstitüsü Müdürlüğü, Eskişehir, Türkiye.
zeynecicekli@ogm.gov.tr, Orcid ID: 0000-0002-5539-0435
hakandemirbag@ogm.gov.tr, Orcid ID: 0000-0003-2778-6376

1. GİRİŞ

Ektomikorizal mantar cinslerinden biri olan trüf mantarları (*Tuber* spp.) yüksek ekonomik değeri, gastronomik önemi ve sınırlı doğal yayılış alanları nedeniyle dünya çapında önemli bir üretim ve araştırma konusu haline gelmiştir. Trüf mantarları arasında yazlık trüf, *Tuber aestivum* Vittad., pazarlanabilirliği ve aroması ile öne çıkmaktadır. *T. aestivum* yetiştirme ortamı bakımından kanaatkâr olması ile birlikte pH'ı 7-8 olan ve drenajı iyi kalker anakaya toprakları tercih etmektedir (Álvarez-Lafuente vd. 2018). Bu özellikleri sayesinde trüf mantarları sadece ekolojik uyumlarıyla değil aynı zamanda yüksek ekonomik getirileriyle de dikkat çekmektedir. Nitekim, odun dışı orman ürünlerinden biri olan yenilebilir mantar üretiminin belirli bir düzeyi aşması ile elde edilecek gelir odun üretiminden elde edilecek gelirden 4-10 kat fazla olabilir (de Frutos Madrazo vd. 2012; Rincón vd. 2021). Bu çerçevede, trüf mantarları hem ormancılık faaliyetlerinde sürdürülebilir gelir çeşitliliği sağlamakta hem de kırsal kalkınmaya önemli katkılar sunmaktadır.

Trüf mantarlarının faydaları yalnızca ekonomik getirileriyle sınırlı değildir. *T. melanosporum* ve *T. aestivum* gibi türler, konukçu bitkilerle simbiyotik ilişkiler kurmakta; konukçusuna bitki besin elementlerini ve suyu sağlamakta karşılığında da fotosentez ürünü karbonu (C) almaktadır (Smith & Read 2008b). Bu yönüyle, orman ekosistemi restorasyonu ve yönetiminde kritik rol oynamaktadır. Örneğin, mikorizal ilişkiler, bitkilerin biyotik ve abiyotik strese karşı direncini artırmaktadır. Kökler etrafında oluşturdukları mikorizal bariyer sayesinde ağır metal toksisitesine karşı koruma sağlamakta, azot, fosfor ve mikro elementler başta olmak üzere besin elementi ve su alımını artırmakta, ayrıca kuraklığa toleransı yükseltmektedirler (Policelli vd. 2020). Bununla birlikte, toprak mikrobiyal çeşitliliğine katkıda bulunmakta, karbon ve besin döngüsünü desteklemekte, orman ekosistemlerinin istikrarına hizmet etmekte ve sürdürülebilir ormancılık ile agro-ormancılık sistemleri için kritik ekolojik işlevler üstlenmektedirler (Rincón vd. 2021).

Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ve karaçam (*Pinus nigra* subs. *pallasiana*) ülkemizin asli türlerindendir. Ülkemizde meşeden sonra en çok yayılış alanına sahip bu türler toplamda ~10 milyon hektar alanda yayılış yaparak odun hammaddesinin temel kaynağını oluşturmaktadır (OGM 2024). Çam türleri ektomikorizal ilişkilere bağımlı türlerdir. Trüf mantarı çeşitleri *P. halepensis*, *P. radiata*, *P. pinea*, *P. armandii* ve *P. sylvestris* gibi türler ile kültüre alınmaya

çalışılmıştır (Delard vd. 2023; Domínguez Núñez vd. 2008; Mrak vd. 2024; Zhang vd. 2020). *T. aestivum* Vittad. Akdeniz Bölgesi ormanlarında doğal olarak bulunabilmektedir. Fakat yerli ibrelili türlerimiz ile olan mikorizal ilişkisi üzerine yeterli çalışma bulunmamaktadır.

Çalışmanın amaçları; (1) farklı kireç oranlarının mikoriza kolonizasyonuna etkisinin, (2) *Tuber aestivum*'un fidan morfolojisine etkisinin ve (3) *Tuber aestivum*'un bitki besin elementi alımına etkisinin belirlenmesidir. Bilgilerimize göre bu çalışma, *Tuber aestivum*'un kızılçam ve karaçam fidanlarında kurduğu mikorizal ilişkiye dair ilk çalışmadır.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Materyal

Eskişehir Orman Fidanlık Müdürlüğünden temin edilen kızılçam ve karaçam tohumları, *T. aestivum* Vittad. ascomataları, enso kaplar, viyoller, ekim ortamı (toprak, perlit, torf, humus, kum ve kompost), %2,5 hidroklorik asit (HCl) ve %4 sodyum hipoklorit (NaClO) çalışmanın materyalini oluşturmaktadır.

2.2. Yöntem

2.2.1. Tohumların Ekilmesi

Kızılçam ve karaçam tohumları %2.5 HCl ile bir dakika yüzey sterilizasyonuna tabi tutulmuştur. Akabinde, üç kez saf sudan geçirilen tohumlar, steril ortamda bir gün bekletilerek hava kurusu hale getirilmiştir. Enso kaplar ekim öncesinde %4 NaClO ile yıkandıktan sonra birkaç kez saf sudan geçirilerek steril hale getirilmiştir. Tohumlar, otoklav ile steril edilen (1,5 ATM, 1 saat) perlit ile doldurulmuş enso kaplara ekilmiştir.

2.2.2. Fidiciklerin *Tuber aestivum* Vittad. ile Aşılması

Kızılçam ve karaçam fidicikleri ekimden üç ay sonra *T. aestivum* Vittad. ile aşılması için enso kaplardan çıkarılmıştır. Fidan köklerindeki perlit dikkatlice temizlenmiştir. Fidanlara 2 cm kök tuvaleti yapılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Kızılçam ve karaçam fideciklerinin *Tuber aestivum* Vittad. ile aşılama süreci (A: Steril tohumların steril perlit ortamında çimlendirilmesi, B: Fideciklerin *T. aestivum* süspansiyonu ile hazırlanmış ortama şaşırtılması, C: *T. aestivum* ile aşılama fideciklerin kontrollü sera ortamında yetiştirilmek üzere bırakılması)

Humus, torf ve perlit (1:2:1) ve kompost olmak üzere iki farklı yetiştirme ortamı üç farklı kireç oranı (%0, %1 ve %2) ile hazırlanmıştır. Bunlar, kızılçam için kontrol (Cz-Kontrol), %0 kireçli (Cz-K0), %1 kireçli (Cz-K1) ve %2 kireçlidir. (Cz-K2). Karaçam için kontrol (Ck-Kontrol), %0 kireçli (Ck-K0), %1 kireçli (Ck-K1), %2 kireçli (Ck-K2). Kompost yetiştirme ortamı sadece karaçam için hazırlanmıştır. Bunlar %0 kireçli (Ck-Kompost-K0), %1 kireçli (Ck- Kompost-K1), %2 kireçlidir (Ck- Kompost-K2). Çalışmada kullanılan kompost, Sayman vd. (2024) tarafından saçlı meşe (*Quercus cerris* L.) ağaçlarının dal, gövde, yaprak artıklarının bir dizi işlemlerden geçirilmesi sonrasında elde edilmiştir. Yetiştirme ortamları otoklav (1,5 ATM, 1 saat) ile steril hale getirilmiştir.

Ascomatalar bir miktar Patates Dekstroz Agar (PDA) ile mikserden geçirildikten sonra saf su ile süspanse edilmiştir. Kök tuvaleti yapılan fidecikler elde edilen karışımda bir süre bekletilmiştir. Bu karışım, yetiştirme ortamlarına homojen olacak şekilde karıştırılarak mikorizalı fidecikler elde edilmiştir. Mikorizasız fidecikler (kontrol fidecikler) için yetiştirme ortamları aynı şekilde hazırlanmış fakat bu karışım eklenmemiştir.

Sonuçta, her bir işlemde 30 adet olmak üzere toplamda 12 işlem için 360 adet fidecik steril viyollere şaşırtılmıştır. Bu fidanlardan istatistiksel değerlendirmede kullanılmak üzere her işlem için rastgele 10 adet fidan seçilmiştir. Viyoller, şaşırtma öncesi %4 NaClO ile yıkandıktan sonra birkaç kez saf sudan geçirilerek steril hale getirilmiştir. Mikorizalı ve mikorizasız

fidanlar, sıcaklığı 20-30 °C arasında değişen ve bağıl nemi %50-70 arasında değişen sera koşullarında tutulmuştur. Fidanlar haftada iki kez sulanmıştır.

2.2.3. Farklı Kireç Oranlarının Mikoriza Kolonizasyonuna Etkisi

Kızılçam ve karaçam fidanları aşılamadan 12 ay sonra rastgele seçilerek incelenmiştir. Fidanlarda mikorizal gelişim OLYMPUS SZ51 mikroskop altında mikorizanın morfolojik olarak tespiti ile yapılmıştır (Zambonelli vd. 1993). Fidanlarda tüm kök incelenerek mikorizalar ve şüpheli/kontaminasyonlar sayılarak oranlanmış ve sonuçlar yüzde (%) olarak ifade edilmiştir (Denklem 1).

$$\text{Mikoriza kolonizasyonu (\%)} = \frac{\text{Mikoriza (adet)}}{\text{Mikoriza + Kontaminasyon (adet)}} \times 100 \quad (\text{Denklem 1})$$

2.2.4. *Tuber aestivum*'un Fidan Morfolojisine Etkisi

Her işlem için 1 yaşlı kızılçam ve karaçam fidanlarından rastlantısal olarak seçilen ve her biri tekerrür kabul edilen 10 adet, toplamda 90 adet fidan sökülüştür. Bu fidanlara ait morfolojik özellikleri belirlemek üzere ölçümler yapılmıştır (Tablo 1). Fidanların boy ve kök boğazı çapı Dickson Kalite İndeksine göre değerlendirilmiştir.

Tablo 1. Bir yaşlı Kızılçam ve Karaçam fidanlarının morfolojik özellikleri ve hesaplama yöntemi (Demirbağ 2023).

Fidan özellikleri	Hesaplama yöntemi
Fidan Boyu (FB)	: Fidanın terminal sürgünün en ucundan kök boğaz çapına kadar olan uzunluk (0,1 cm hassasiyetinde) (Ayan 2002).
Kök Boğazı Çapı (KBC)	: Fidan gövdesi üzerindeki en üst kökün hemen üst kısmından ölçülen değerdir (0,1 milimetre hassasiyetinde) (Ayan 2002).
Sak (Gövde) Taze Ağırlığı (STA)	: Fidanın toprak üstü organlarının sökümünden sonraki ağırlığı (g)
Kök Taze Ağırlığı (KTA)	: Kök boğazı çapı hizasından kesilerek gövdeden ayrılan kök kısımlarının sökümünden sonraki ağırlığı (g)
Fidan Taze Ağırlığı (FTA)	: Fidanın sak ve kök taze ağırlıklarının toplamı (g)
Sak Kuru Ağırlığı (SKA)	: Fidanın toprak üstü organlarının fırın kurusu (65 °C’de 48 saat) ağırlığı (g)
Kök Kuru Ağırlığı (KKA)	: Kök boğazı çapı hizasından kesilerek gövdeden ayrılan kök kısımlarının fırın kurusu (65 °C’de 48 saat) ağırlığı (g)
Fidan Kuru Ağırlığı (FKA)	: Fidanın fırın kurusu (65 °C’de 48 saat) ağırlığı (g)
Gürbüzlük (FB/KBC)	: Fidan boyu değerinin, kök çapı değerine bölünmesi sonucu bulunan oransal değer (Yahyaoğlu, 1986)
Katlılık (SKA/KKA)	: Sak kuru ağırlığı değerinin, kök kurusu ağırlığı değerine bölünmesi sonucu bulunan oransal değer
Kök Yüzdesi (KKÖK%)	: Kök kuru ağırlığı değerinin, fidan kuru ağırlığı değerine bölünmesi sonucu bulunan oransal değer yüzdesi (Genç 1992).
Dickson Kalite İndeksi (DKİ=FKA/G + K)	: Fidan Kuru ağırlığı değerinin gürbüzlük ve Katlılık değerlerinin toplamına bölünmesi sonucu bulunan oransal değer (Dickson 1960).

2.2.5. *Tuber aestivum*’un Beslenme Durumuna Etkisi

Kızılçam ve karaçam fidanlarında N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn, Cu ve S bitki besin elementleri Orman Toprak ve Ekoloji Araştırmaları Enstitüsü Müdürlüğü laboratuvarında analiz edilmiştir. Azot, *Kjeldahl Metodu*, Fosfor, *Spektrofotometrede Amonyum Meta Vanadat Sarı Renk Yöntemi*, Potasyum ve

Sodyum, *Flame Fotometrik Metod*, Kalsiyum, Magnezyum, Demir, Çinko, Bakır ve Mangan, *AAS Metodu* ile tayin edilmiştir.

2.2.6. İstatistiksel Değerlendirme

İstatistiksel analizler R programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (*R Development Core Team* 2008). İşlemlerin mikoriza kolonizasyonuna ve fidan morfolojisine etkisini belirlemek amacıyla *stats* R paketindeki *aov* fonksiyonu kullanılarak her işlemin ortalamaları tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile karşılaştırılmıştır. İşlemler arasında anlamlı fark olması durumunda ($p < 0,05$) Tukey testi yapılmıştır.

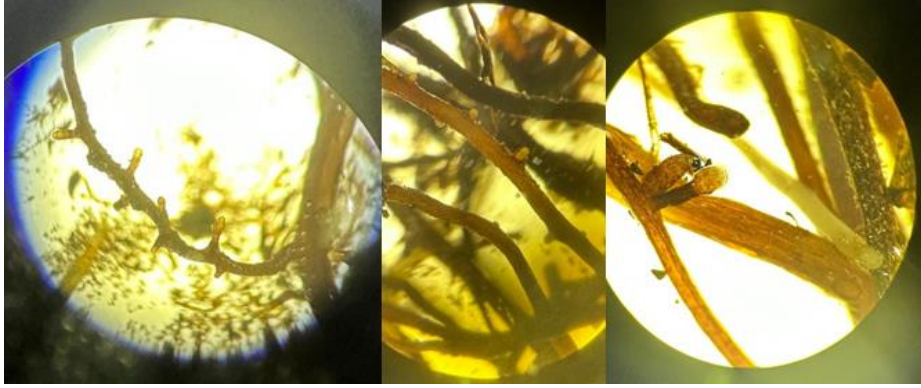
Fidan morfolojik özellikleri ve mikoriza kolonizasyonu arasındaki korelasyon katsayıları, *stats* R paketindeki *cor* fonksiyonu kullanılarak Pearson korelasyonu ile hesaplanmıştır. Veriler arasındaki korelasyonlar, *pheatmap* R paketindeki *pheatmap* fonksiyonu kullanarak ısı haritası ile görselleştirilmiştir.

Bitki örneklerinin makro ve mikro besin elementi açısından farklılıkları belirlemek için Temel Bileşen Analizi (PCA) uygulanmıştır (Jolliffe 2011). Analiz, *Tuber aestivum* inokulasyonunun fidanların besin elementi alım profillerini tür ve işlem bazında nasıl etkilediğini karşılaştırmak üzere yürütülmüştür. PCA analizi *FactoMineR* paketindeki *PCA* fonksiyonu ile gerçekleştirilmiştir. Skor diyagramı ve yükleme diyagramı *ggplot2* ve *ggrepel* paketleri kullanılarak birleştirilmiş ve ‘biplot’ şeklinde görselleştirilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

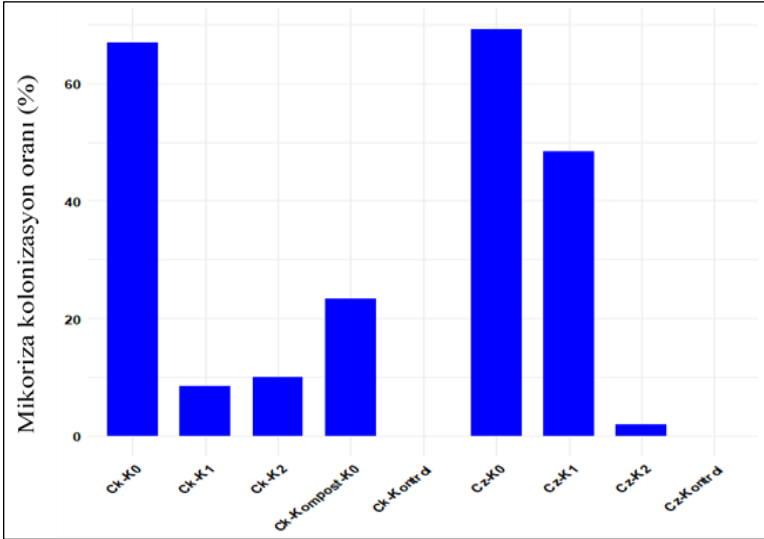
3.1.1. Farklı Kireç Oranlarının Mikoriza Kolonizasyonuna Etkisi

Çalışılan her iki türde de mikorizal kolonizasyon gözlenmiş olmakla birlikte, karaçamda mikoriza gelişiminin kızılçamda kıyasla daha zayıf olduğu saptanmıştır (Şekil 2). Fidan türleri ve uygulanan işlemler arasında, sistidyalı tipik ve iyi gelişmiş ektomikorizalar kızılçamda ve karaçamın Kompost-K0 ortamında ortaya çıkmıştır. İncelenen tüm ektomikorizal kökler morfolojik olarak *T. aestivum* olarak tanımlanmış; test edilen fidanlarda kontaminasyon olabileceği düşünülen bazı şüpheli yapılar gözlenmiştir.



Şekil 2: Mikorizalı fidanlarda gözlenen *T. aestivum* 'lu yapılar.

Kızılçamda mikoriza kolonizasyonu, ortam kireci arttıkça belirgin şekilde azalmıştır (Şekil 3). Kızılçamda mikoriza kolonizasyonu ortalama değerleri K0, K1 ve K2 ortamlarında sırasıyla %69, %48 ve %2 olarak saptanmıştır. Bu bulgu, yüksek kireç konsantrasyonlarının kızılçam fidan köklerinde mikorizanın gelişimini olumsuz etkilediğini göstermektedir. Bunun aksine, *T. borchii* ile aşıl原因 sarıçamda yapılan bir çalışmada (Mrak vd. 2024), ortam kireç içeriği ile mikoriza kolonizasyonuna arasında bir ilişkinin olmadığı bildirilmiştir.



Şekil 3. Farklı kireç ortamlarında yetiştirilen 1 yaşlı kızılçam ve karaçam fidanlarında mikoriza kolonizasyon oranı (Çz: Kızılçam, Çk: Karaçam, K0: %0 kireçli ortam, K1: %1 kireçli ortam, K2: %2 kireçli ortam, Kompost-K0: kireçsiz kompost ortamı).

Karaçamda ise işlemler arasında mikoriza kolonizasyon oranları daha değişkendir (Şekil 3). En yoğun kolonizasyon K0 ortamında gözlenmiştir. Ortalama mikoriza kolonizasyon oranları, K0, K1, K2 ve Kompost-K0 ortamlarında sırasıyla %67, %9, %10 ve %23 olarak bulunmuştur.

Kompost ortamlarında (K0, K1 ve K2) yetiştirilen karaçamlardan yalnızca K0 ortamındaki fidanlar hayatta kalabilmiş, diğer ortamların fidan hayatta kalımı açısından sınırlı olduğu görülmüştür. Kompost ortamlarında uygulanan kireç oranının artırılması karaçam fidanlarının yetişmesini olumsuz etkilemiştir. Bu durum, karaçamın kompost ortam koşullarına karşı daha hassas olduğunu ve kireç uygulamasının türler arasında mikoriza gelişimini farklı etkilediğini göstermektedir.

Kompost-K0 ortamında mikorizal gelişimlerin görülmesi kompostun turba veya torf gibi nispeten maliyetli yetiştirme ortamlarına alternatif olabileceğini desteklemektedir. Nitekim yeşil organik kalıntıları içeren kompost karışımı kullanılan bir çalışmada, *Tuber melanosporum* Vittad. ile aşılı *Quercus pubescens* Willd. fidanların kontrol grubuna göre daha iyi performans gösterdiği ve ucuz ve çevresel olan kompostun mikorizasyon sürecine dahil edilebileceği bildirilmiştir (Pagliarani vd. 2023). Ayrıca, kompost kullanımı, orman atıklarının geri dönüşümü ve sürdürülebilir değerlendirilmesi açısından da önemli bir işlev görmektedir.

Sonuç olarak, karaçam fidanlarının mikoriza ile simbiyotik ilişki kurma kapasitesinin kızılçama göre daha düşük olduğunu ve ortam koşullarına daha duyarlı olduğunu ortaya koymaktadır. *Pinus nigra* subsp. *salzmannii* ve *P. sylvestris* ile yapılan bir başka çalışmada ise bu türlerin *T. melanosporum* ile mikorizal ilişki kurduğu bildirilmiştir (García-Montero vd. 2007). Bazı çalışmalarda çam türlerinin mikorizal ilişki kurduğu fakat ascocarp üretmesinin koşullara bağlı olduğuna dikkat çekilmiştir (Granetti vd. 2005; García-Montero vd. 2007). Dolayısıyla, mikorizal simbiyozun türler arası farklılıklar gösterebildiği ve çevresel koşullara verilen yanıtların konukçu türün özelliklerine bağlı olarak değişebileceği anlaşılmaktadır.

3.1.2. *Tuber aestivum*'un Fidan Morfolojisine Etkisi

ANOVA sonucuna göre mikoriza kolonizasyon oranı en yüksek olan Cz-K0 ve Ck-K0 ortamları değerlendirmeye alınmıştır.

3.1.2.1. Kızılçam Fidanlarında Gelişimler

Kontrol ve Cz-K0 ortamları arasında fidan morfolojik özellikleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir (Tablo 2; $p<0.05$). Kök% dışında tüm fidan özellikleri, Cz-K0 ortamında kontrol ortamına kıyasla daha yüksek bulunmuştur. *T. borchii* ile aşılınmış *P. pinea*, *T. melanosporum* ile aşılınmış *Q. petraea* ve *P. halepensis* gibi diğer türlerde de mikorizanın fidan gelişimine olumlu etki ettiği kaydedilmiştir (Delard vd. 2023). Bu durum, Cz-K0 ortamının fidan büyümesini destekleyen bir ortam olduğunu ve mikoriza kolonizasyonunun fidan morfolojisi üzerindeki olumlu etkilerini yansıttığını göstermektedir. KTA açısından ise işlemler arasında anlamlı fark yoktur (Tablo 2). Bu durum, mikorizal etkinin belirli morfolojik parametrelerle sınırlı olduğunu düşündürmektedir.

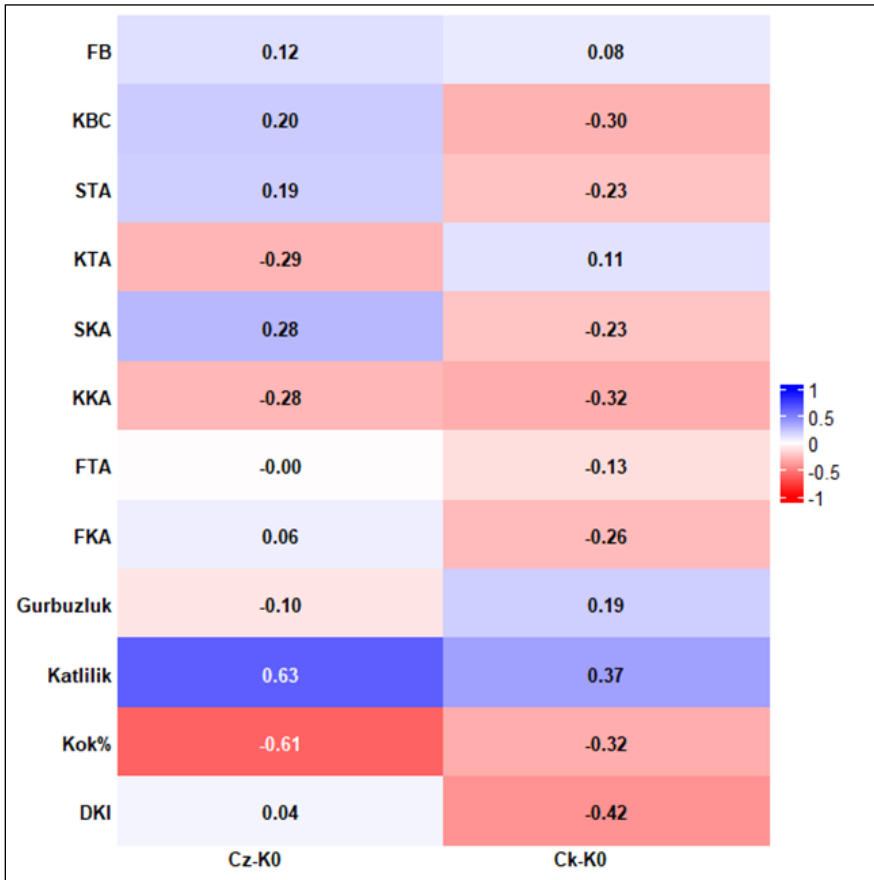
Tablo 2. Bir yaşlı kızılçam ve karaçam fidanlarının farklı kireç ortamlarında mikoriza kolonizasyon oranı ve fidan morfolojik özellikleri.

Fidan Özellikleri	Çz				Çk				
	Kontrol	K0	K1	K2	Kontrol	K0	K1	K2	Kompost-K0
FB (cm)	10,5 ^{b*}	15,6 ^a	11,6 ^b	14,7 ^b	7,3 ^{ab}	8,2 ^a	6,3 ^b	7,6 ^{ab}	7,8 ^{ab}
KBÇ (mm)	1,07 ^b	1,45 ^a	1,13 ^b	1,43 ^{ab}	0,69 ^{ab}	0,80 ^a	0,81 ^a	0,57 ^b	0,69 ^{ab}
STA (gr)	0,78 ^b	1,99 ^a	0,73 ^b	1,53 ^b	0,33 ^b	0,87 ^a	0,43 ^b	0,38 ^b	0,36 ^b
KTA (gr)	0,44 ^a	0,62 ^a	0,45 ^a	1,03 ^a	0,16 ^{bc}	0,34 ^a	0,23 ^b	0,20 ^{bc}	0,11 ^c
SKA (gr)	0,37 ^b	0,74 ^a	0,32 ^b	0,57 ^b	0,20 ^b	0,31 ^a	0,31 ^a	0,16 ^b	0,15 ^b
KKA (gr)	0,30 ^{ab}	0,37 ^a	0,25 ^b	0,43 ^{ab}	0,12 ^a	0,12 ^a	0,12 ^a	0,08 ^b	0,06 ^b
FTA (gr)	1,22 ^b	2,61 ^a	1,18 ^b	2,56 ^b	0,49 ^b	1,22 ^a	0,66 ^b	0,58 ^b	0,48 ^b
FKA (gr)	0,66 ^b	1,11 ^a	0,57 ^b	1,00 ^b	0,32 ^{ab}	0,43 ^a	0,43 ^a	0,23 ^{bc}	0,20 ^c
Gürebüzlük	10,1 ^{ab}	11,1 ^a	10,4 ^a	10,8 ^b	11,4 ^{ab}	11,2 ^{ab}	7,9 ^b	14,4 ^a	11,7 ^{ab}
Katlılık	1,23 ^b	2,04 ^a	1,36 ^b	1,42 ^b	1,72 ^b	2,64 ^a	2,64 ^a	2,17 ^{ab}	2,48 ^a
Kök %	45,2 ^a	33,3 ^b	43,0 ^a	41,7 ^a	37 ^a	28 ^b	28 ^b	32 ^{ab}	29 ^b
DKİ	0,06 ^b	0,09 ^a	0,05 ^b	0,09 ^{ab}	0,03 ^{bc}	0,04 ^{ab}	0,04 ^a	0,02 ^b	0,01 ^b
Mikoriza (%)	0 ^c	69 ^a	48 ^b	2 ^c	0 ^c	67 ^a	9 ^b	10 ^b	23 ^b

*Aynı satırda aynı harf ile gösterilen değerler arasında anlamlı fark yoktur ($p>0,05$). Fidan özellikleri: Tablo 1’dedir. Çz: Kızılçam, Çk: Karaçam, K0: %0 kireçli ortam, K1: %1 kireçli ortam K2: %2 kireçli ortam, Kompost-K0: Kireçsiz kompost ortamı, Mikoriza (%): Mikoriza kolonizasyonu.

Korelasyon analizleri, mikoriza kolonizasyonunun fidan özellikleri ile ilişkisini ortaya koymuştur. Korelasyon katsayılarına göre, Cz-K0 fidanlarındaki mikoriza kolonizasyonu Katlılık (0,63) ile yüksek pozitif ve SKA (0,28) ile zayıf pozitif ilişkilidir. Bu bulgu, mikorizanın fidanın katlılık gelişimini desteklediğini göstermektedir. Buna karşılık, fidanlardaki mikoriza kolonizasyonu Kök% (-0,61) ile yüksek negatif; KKA (-0,29) ve KTA (-0,28) ile zayıf negatif ilişkilidir (Şekil 4; $p < 0.05$). Bu sonuç, mikoriza kolonizasyonunun fidan kök ağırlığını doğrudan artırmak yerine kök yapısal verimliliğini ve işlevselliğini optimize ettiğini düşündürmektedir.

Farklı mikorizal ortamlarda yetiştirilen kızılçam fidanlarında K0 ortamı için katlılık ile olan yüksek pozitif ilişki mikoriza etkisini ortaya koymaktadır (Şekil 4). Katlılık, fidan kalite sınıflandırmalarında önemli bir ölçüt olup, bu değere sahip fidanların özellikle kurak alanlarda daha iyi tuttuğu belirtilmektedir (Cleary ve Greaves 1979; Özpay ve Tosun 1993). Ayrıca ağaçlandırma çalışmalarında katlılık değeri düşük fidanların tercih edilmesi önerilir (Güner vd. 2018). Çünkü katlılık, fidanın su stresi ve fizyolojik durumunu doğrudan etkiler. Kurak mıntikalarda SKA/KKA oranı 3'ü aşmayan fidanların kullanımı uygundur (Eyüpoğlu 1979). Bu araştırmada elde edilen katlılık oranları 1-3 arasında olduğu düşünüldüğünde mikorizal uygulamaların fidan gelişimine olumlu etki sağladığını belirtmek mümkündür.



Şekil 4. Fidan morfolojik özellikleri ve mikorizal kolonizasyon oranı arasındaki korelasyon katsayılarının ısı haritası. (Cz-K0: Kızıлчаam mikoriza kolonizasyonu. Ck-K0: Karaçam mikoriza kolonizasyonu. Fidan özellikleri: Tablo 1’dedir.

Renklendirme: Isı haritası hücrelerinde soğuk renk pozitif, sıcak renk negatif korelasyonu temsil eder; renk koyulaştıkça korelasyon güçlenir (Korelasyon, Pearson’a göre $p < 0,01$ ve $p < 0,05$ düzeyinde önemlidir).

Mikorizanın, özellikle arbasküler mikoriza türlerinin, fidan büyümesini ve besin elementi alımını destekleyerek bitki morfolojisinde iyileşmeye yol açtığı belirtilmektedir (Smith ve Read 2008a). Mevcut çalışmada gözlenen pozitif korelasyonlar, mikoriza kolonizasyonunun katlilik ve SKA üzerinden fidanların kök işlevlerini optimize ettiğini doğrulamaktadır. Öte yandan, kök yüzdesi gözlenen negatif ilişkiler, mantar kolonizasyonunun kök hacmi artışını değil, kök etkinliği ve besin alımını artırıcı yönünü ön plana çıkarmaktadır. Bu

durum, mikoriza uygulamalarının fidan morfolojisinden ziyade kök işlevselliğini geliştirmeye odaklandığını göstermektedir.

Sonuç olarak, Cz-K0 ortamı fidan büyümesini desteklerken, mikoriza kolonizasyonu fidan kök yapısının verimliliğini artırmakta, özellikle katlılığı iyileştirmekte; kök yüzdesi ile ise ters ilişkiler göstermektedir. Bu bulgular, orman fidanı üretiminde mikoriza uygulamalarının morfolojik ve fizyolojik verimlilik açısından önemli katkılar sağladığını desteklemektedir.

3.1.2.2. Karaçam Fidanlarında Gelişimler

Kontrol ve Ck-K0 ortamları arasında fidan morfolojik özellikleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklar görülmüştür (Tablo 2; $p < 0.05$). KKA, Gürbüzlük ve Kök% dışındaki tüm fidan özellikleri Ck-K0 ortamında kontrol ortamına göre daha yüksektir. Bu durum, Ck-K0 ortamının fidan gelişimini desteklediğini ve mikoriza kolonizasyonunun bazı morfolojik parametreler üzerinde olumlu etkilerini yansıtmaktadır. Kontrol fidanları Cz-K0 fidanlarına kıyasla daha yüksek Kök%'sine sahip olup KKA ve Gürbüzlük açısından aralarında anlamlı bir fark yoktur (Tablo 2; $p < 0.05$). Bu bulgu, kontrol fidanlarının kök ağırlığını yoğunlaştırarak toprak kaynaklarını daha verimli kullanmaya yönelik bir adaptasyon stratejisi geliştirdiğini düşündürmektedir. Özellikle fidan biokütlesi bakımından mikorizal uygulamanın olumlu katkılarının olduğunu belirtmek mümkündür.

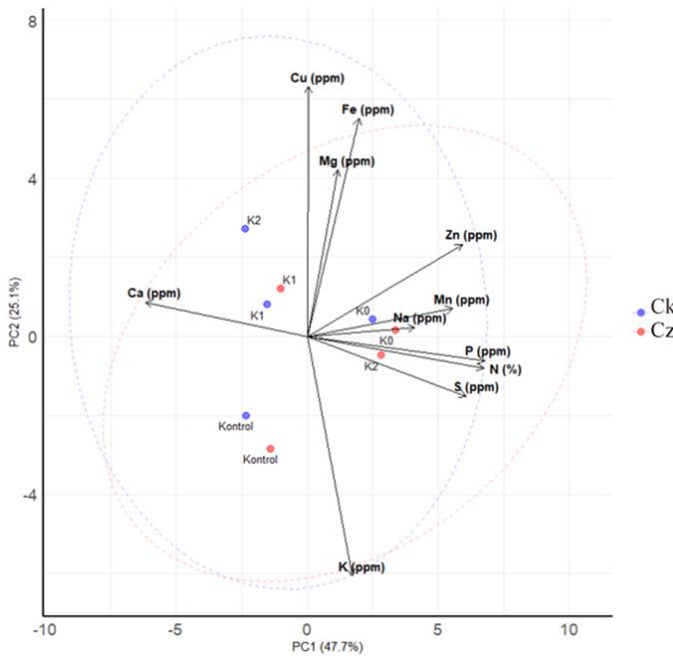
Korelasyon katsayılarına göre, Ck-K0 fidanlarında mikoriza kolonizasyonu Gürbüzlük (0,19) ve KTA (0,11) ile çok zayıf pozitif ilişkilidir (Şekil 4, $p < 0.05$). Bunun aksine, Kök% (-0,32), FKA (-0,26), KKA (-0,32), SKA (-0,23), STA (-0,23) ve KBC (-0,30) ile zayıf negatif ve DKİ (-0,42) ile orta negatif ilişkili bulunmuştur (Şekil 4; $p < 0.05$).

Fidanlıkta üretilen fidelerin kalitesini iyileştirmek için çeşitli çalışmalar yürütülmektedir (Caravaca vd. 2005). Araştırmalar, ektomikorizal mantarlar ile toprak ıslahının, özellikle mikrobiyal aktivitenin düşük olduğu topraklarda bitki hayatta kalma oranını ve fide kalitesini artırdığını bildirmiştir (Chanway 1997, Probanza vd. 2001). Bulguların aksine, *T. melanosporum* ile aşıl原因an karaçam üzerinde yapılan bir çalışmada, kök uçlarının sayısının artmış ancak kök kuru ağırlığının etkilenmemiştir. Bu durum mikorizal ilişkinin kök dallanmasını biyokütle artışı olmadan teşvik ettiğini de göstermektedir (Domínguez-Nuñez vd. 2015). Splivallo vd. (2009), bunun fitohormon üretimiyle ilişkili

olabileceğini belirtmiştir. Bu çalışmadaki sonuçlar, mikoriza kolonizasyonunun fidan kök hacmi ve kütlesini artırmaktan ziyade kök sistemi işlevselliğini ve besin alım verimliliğini optimize ettiğini göstermektedir. Özellikle, DKİ ile gözlenen orta negatif ilişkiyse, mikoriza uygulamalarının fidan kalitesini yapısal büyümeden çok kök verimliliği ve simbiyotik etkileşim üzerinden iyileştirdiğini düşündürmektedir. Sonuç olarak, Ck-K0 ortamı fidan gelişimini genel olarak desteklerken, mikoriza kolonizasyonu fidanın kök sistemi etkinliğini artırıcı rol oynamaktadır.

3.1.3. *Tuber aestivum*'un Bitki Besin Elementi Alımına Etkisi

Temel bileşenler analizi (PCA) sonucunda, birinci bileşen (PC1) toplam varyansın %47,7'sini, ikinci bileşen (PC2) ise %25,1'ini açıklamış; böylece ilk iki bileşen birlikte varyansın %72,8'ini temsil etmiştir (Şekil 5). Bu durum, besin elementlerinin türler ve uygulamalar arasında farklılaşmasını büyük oranda açıklamaktadır.



Şekil 5. PCA Biplot: *Tuber aestivum* Vittad. ile inokule olan ve olmayan kıvılcım ve karaçam fidanlarında yaprak besin elementi konsantrasyonu (N: Azot, P: Fosfor, K: Potasyum, Ca: Kalsiyum, Mg: Magnezyum, Na: Sodyum, Fe: Demir, Mn: Mangan, Zn: Çinko, Cu: Bakır, S: Kükürt. Cz: Kıvılcım, Ck: Karaçam, K0: Kireçsiz ortam, K1: %1 kireçli ortam, K2: %2 kireçli ortam).

Biplot incelendiğinde, PC1 eksenini türler arasındaki ana ayrımı açıklamakta, kızılçam ve karaçamın besin elementi kullanımındaki farklılıkları net biçimde ortaya koymaktadır. Özellikle P, Na ve N vektörlerinin bu ekseninde baskın yükler göstermesi, türlerin makro besin alımında belirgin şekilde ayrıştığını göstermektedir. Bu durum, literatürde iğne yapraklı türler arasında tanımlanan tür-spesifik beslenme stratejileriyle uyumludur. Örneğin, *Tuber borchii* ile inokule *Pinus pinea* fidanlarında yapılan çalışmada, P alımında artış olmasına rağmen K alımı azalmıştır (Delard vd. 2023).

Diğer yandan, Cu, Mg ve Fe elementleri PC2 ekseninde pozitif yönde konumlanmakta ve orta uzunluktaki vektörleriyle ikincil fakat anlamlı bir farklılaşmaya işaret etmektedir. Bu değişkenler, türler arasındaki temel ayrımı belirlemekten ziyade, aynı tür içerisindeki uygulamalar (özellikle K0 ve Kontrol grupları) arasındaki farkları ortaya koymaktadır. Kızılçamda K0 uygulamasının PC2’de Kontrole kıyasla daha yüksek konumlanması, Cu, Mg ve Fe alımında artış eğilimine işaret ederken; karaçamda ise bu fark daha sınırlı düzeydedir. Bu bulgu, *T. aestivum*’un türler üzerinde benzer yönde fakat farklı şiddette etkiler yarattığını göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, *T. aestivum* inokulasyonu makro besin elementlerinde (özellikle P, Na ve N) güçlü bir yeniden düzenleme sağlamakta, bu etki türler arasındaki temel ayrımı açıklamaktadır. Bununla birlikte, Cu, Mg ve Fe gibi elementlerde daha ince ölçekli ve uygulamaya bağlı farklar gözlenmiştir. Bu sonuçlar, mikorizal simbiyozun yalnızca fosfor gibi klasik hedef elementlerde değil, aynı zamanda mikro ve ikincil besin elementlerinde de belirli düzeyde katkı sağladığını ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, *T. aestivum*’un fidan beslenmesine katkısı çok boyutlu olup hem tür hem de uygulama düzeyinde farklılaşan bir etkileşim söz konusudur.

Bu sonuçlar, *T. aestivum*’un fidan yetiştiriciliğinde yalnızca mantar üretimi açısından değil, aynı zamanda beslenme fizyolojisi yönünden de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Özellikle fosfor ve mikroelement alımındaki artış, fidanların sahaya dikim sonrası adaptasyon potansiyelini güçlendirebilir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, kızılçam ve karaçam fidanlarında mikoriza kolonizasyonu ortam kirecine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Kızılçamda yüksek

kireç uygulamaları mikoriza gelişimini ciddi şekilde sınırlarken, karaçamda mikoriza kolonizasyonu daha zayıf ve değişken bir desen göstermektedir. Sonuç olarak, farklı fidan türlerinin yetiştirme ortamı ve kireç uygulamalarına karşı mikorizal yanıtlarının farklı olduğunu ve fidan üretiminde tür-spesifik yönetim stratejilerinin önemini vurgulamaktadır.

Uygulayıcılar açısından değerlendirildiğinde, trüf bahçesi kurulumu ve mikorizal fidan üretiminde kullanılacak türlerin kireçsiz veya düşük kireçli ortamlarda yetiştirilmesi önerilmektedir. Bununla birlikte, kızılçam ve karaçam türlerinde mikoriza uygulamalarının fidan morfolojisi ve besin elementi alımı üzerinde olumlu etkileri olduğu; özellikle fosfor, azot ve sodyum gibi temel elementlerin yanı sıra demir, magnezyum ve bakır gibi mikro elementlerin alımında da katkı sağladığı belirlenmiştir. Bu durum, mikorizal uygulamaların fidan kalitesini yalnızca biyokütle artışıyla değil, kök işlevselliğini ve beslenme verimliliğini güçlendirerek artırdığını ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, mikorizal fidanların dikim sonrası kuraklık ve besin yetersizliği gibi stres koşullarına daha dayanıklı olabilir. Türkiye'nin sahip olduğu doğal kaynaklar ve iklim koşulları dikkate alındığında, mikorizal fidan üretimi yalnızca trüf mantarı yetiştiriciliğinde değil, aynı zamanda başarılı ağaçlandırma çalışmaları ve kırsal kalkınma açısından da stratejik bir fırsat sunmaktadır.

Gelecek araştırmalar açısından, *T. aestivum*'un meşe gibi yapraklı türlerle birlikte kireçsiz ve kireçli ortamlardaki performansının karşılaştırılması, mikoriza–besin elementi ilişkilerinin fizyolojik mekanizmalarının ayrıntılı olarak ortaya konması ve fidan ekiminden sonra aşılama için en uygun zamanın belirlenmesine yönelik çalışmaların yürütülmesi büyük önem taşımaktadır. Bu tür araştırmalar, mikorizal başarıyı artırmanın yanı sıra, farklı tür ve ortamlar için daha verimli üretim stratejileri geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR

Çalışmamızdaki destekleri için Eskişehir Orman Toprak ve Ekoloji Araştırmaları Enstitüsü Müdürlüğüne ve Eskişehir Orman Fidanlık Müdürlüğüne teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- Álvarez-Lafuente, A., Benito-Matías, L. F., Peñuelas-Rubira, J. L., & Suz, L., M. (2018). Multi-cropping edible truffles and sweet chestnuts: Production of high-quality *Castanea sativa* seedlings inoculated with *Tuber aestivum*, its ecotype *T. uncinatum*, *T. brumale*, and *T. macrosporum*. *Mycorrhiza*, 28(1), 29-38. <https://doi.org/10.1007/s00572-017-0805-9>
- Ayan, S., (2002). *Determining the site condition features of Containerized-Oriental Spruce (Picea orientalis (L.) Link.) seedlings; and setting the production Techniques*. Ministry of Forests, the Institution of Eastern Black Sea Forestry Research, Ministry Publication number:179, Eastern Black Sea Forestry Studies (DKOA) Publication number:14, [Technical Bulletin] Publication number: 11, Trabzon.
- Caravaca, F., Alguacil, M. M., Azcon, R., Parlade J., Torres, P. & Roldan, A. (2005). Establishment of two ectomycorrhizal shrub species in a semiarid site phosphate, and *Aspergillus niger*. *Microbial Ecology*, 49, 73-82. <https://doi.org/10.1007/s00248-003-0131-y>
- Chanway, C. P. (1997). Inoculation of tree roots with plant growth promoting soil bacteria: an emerging technology for reforestation. *Forest Science*, 43, 99-112.
- Cleary, B. D., & Greaves, R. R. (1979). Fidan. *Ormancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25, 31-67.
- De Frutos Madrazo, P., Peña, F. M., & Laleona, S. E. (2012). Edible wild mushroom tourism as a source of income and employment in rural areas. The case of Castilla y León. *Forest Systems*, 21(1), 81-98. <https://doi.org/10.5424/fs/2112211-02545>
- Delard, C., Loewe, V., Río, R. D., González, M., Gregori, G., Acevedo, M., Cartes, E., & Balzarini, M. (2023). Effect of *Tuber borchii* inoculation on *Pinus pinea* seedling quality and initial growth in the field. *New Forests*, 55, 609–627. <https://doi.org/10.1007/s11056-023-09992-8>
- Demirbağ, H. (2023). *Adıyaman ve Şanlıurfa'daki Dardağan (Celtis tournefortii Lam.) Gen Kaynakları Üzerine Araştırmalar*. Doktora Tezi. Bursa Teknik Üniversitesi, 2023. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23182.98887>

- Dickson, A., Leaf, A. L., Hosner, J. F., (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedlings stock in nurseries. *Forestry Chronicle*, 36(1), 10-13.
- Domínguez Núñez, J. A., Planelles González, R., Rodríguez Barreal, J. A., & Saiz de Omeñaca González, J. A. (2008). The effect of *Tuber melanosporum* Vitt. mycorrhization on growth, nutrition, and water relations of *Quercus petraea* Liebl., *Quercus faginea* Lamk., and *Pinus halepensis* Mill. Seedlings. *New Forests*, 35(2), 159-171. <https://doi.org/10.1007/s11056-007-9069-0>
- Dominguez-Nuñez, J., A., Medina, M., Berrocal-Lobo, M., Anriquez & A., Albanesi, A. (2015). The combined effects of *Pseudomonas fluorescens* CECT 844 and the black truffle coinoculation on *Pinus nigra* seedlings. *iForest* 8: 624-630
- Eyüpoğlu, A. K. (1979). Fidan. *Ormancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 2: 31–67.
- García-Montero, L. G., Manjón, J. L., Martín-Fernández, S., & Di Massimo, G. (2007). Problems of using pines in *Tuber melanosporum* culture: Soils and truffle harvest associated with *Pinus nigra* and *Pinus sylvestris*. *Agroforestry Systems*, 70(3), 243-249. <https://doi.org/10.1007/s10457-007-9052-y>
- Genç, M. (1992). *Doğu ladini (Picea orientalis (L.) Link.) Fidanlarına Ait Bazı Morfolojik ve Fizyolojik Özelliklerle Dikim Başarısı Arasındaki İlişkiler*. [Doktora Tezi]. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Granetti, B., De Angelis, A., & Materozzi, G. (2005). *Umbria terra di tartufi*. [M]. Regione Umbria-Gruppo Micologico Ternano, Terni, 303
- Güner, Ş. T., Güner, D., & Şahin, U. (2018). Toros sedirinde yetiştirme sıklığının fidan morfolojik özellikleri ve beslenme durumuna etkisi. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 5(1), 44-55.
- Jolliffe, I. (2011). Principal component analysis. In *International encyclopedia of statistical science* (ss. 1094-1096). Springer.
- Kalıpsız, A., (1981). *İstatistik Yöntemler*. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, Yayın No: 2837/294, İstanbul.
- Mrak, T., Grebenc, T., Friedrich, S., & Münzenberger, B. (2024). Description, identification, and growth of *Tuber borchii* Vittad. Mycorrhized *Pinus*

- sylvestris* L. seedlings on different lime contents. *Mycorrhiza*, 34(1), 85-94. <https://doi.org/10.1007/s00572-023-01135-3>
- OGM (2024). *Resmi İstatistikler*. <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane/resmi-istatistikler>. Erişim Tarihi: 21.08.2025
- Özpay, Z., & Tosun, S. (1993). Kayın (*Fagus orientalis* Lipsky.) fidanlarının kalite sınıflarının belirlenmesi üzerine araştırmalar. [Ormancılık Araştırma Enstitüsü Teknik Bülten]. 241, 107-113.
- Pagliarani, S., Vannini, A., Kuzminsky, E., & Morales-Rodríguez, C. (2023). Novel soil-less potting mixes for the mycorrhization of *Quercus pubescens* Willd. Seedlings with *Tuber melanosporum* Vittad. *BMC Plant Biology*, 23(1), 249. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04194-y>
- Policelli, N., Horton, T., Hudon, A., Patterson, T., & Bhatnagar, J. (2020). Back to Roots: The Role of Ectomycorrhizal Fungi in Boreal and Temperate Forest Restoration. *Frontiers in Forests and Global Change*, 3. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.00097>
- Probanza, A., Mateos, J. L., Lucas, G. J. A., Ramos, B., De Felipe M. R., Gutierrez, M. F. J. (2001). Effects of inoculation with PGPR *Bacillus* and *Pisolithus tinctorius* on *Pinus pinea* L. growth, bacterial rhizosphere colonization, and mycorrhizal infection. *Microbial Ecology*, 41: 140-148. doi:10.1007/s002480000081
- R Development Core Team (2008). [Software].
- Rincón, A. M., Pérez-Izquierdo, L., de Miguel, S., & Parladé, J. (2021). Mycorrhizae in Mediterranean Pine and Mixed Forests. In G. Ne'eman & Y. Osem (Ed.), *Pines and Their Mixed Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin* (ss. 395-418). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63625-8_20
- Smith, S. E., & Read, D. (2008a). Introduction. In S. E. Smith & D. Read (Ed.), *Mycorrhizal Symbiosis (Third Edition)* (ss. 1-9). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012370526-6.50002-7>
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2008b). *Mycorrhizal symbiosis*. 3rd edn. Academic Press, Elsevier, Great Britain.
- Splivallo, R., Fischer, U., Gobel, C., Feussner, I., & Karlovsky, P. (2009). Truffles regulate plant root morphogenesis via the production of auxin and ethylene. *Plant Physiology*, 150: 2018-2029. Doi: 10.1104/pp.109.141325

- Yahyaoğlu, Z. (1986). Fidan standardizasyonu ders notları. Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi.
- Zambonelli, A., Salomoni, S., & Pisi, A. (1993). Caratterizzazione anatomomorfologica delle micorrize di *Tuber* spp. Su *Quercus pubescens* Willd. *Micol Ital.*, 3:73–90.
- Zhang, X., Li, X., Ye, L., Huang, Y., Kang, Z., Zhang, B., & Zhang, X. (2020). Colonization by *Tuber melanosporum* and *Tuber indicum* affects the growth of *Pinus armandii* and *phoD* alkaline phosphatase encoding bacterial community in the rhizosphere. *Microbiological Research*, 239, 126520. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126520>

BÖLÜM 7

SARIÇAM FİDANLARININ GELİŞİMİNDE ODUN KÜLÜNÜN ETKİSİ

Doç. Dr. Aşkın GÖKTÜRK¹
Orm. Yük. Müh. Mehmet KOŞAR²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17737385>

¹ Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi , Orman Mühendisliği Bölümü, Artvin, Türkiye.

agoktruk@artvin.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-8093-7896

² Artvin Çoruh Üniversitesi, Yapı İşleri Daire Başkanlığı, Artvin, Türkiye.

elaziz-23@artvin.edu.tr , Orcid ID: 0000-0001-7658-8179

1. GİRİŞ

Yangın, ekosistemlerin yapısı ve işleyişi üzerinde belirleyici rol oynayan ekolojik faktörlerden biridir (Mack ve D'Antonio 1998; Keeley 2006; Baeza vd. 2007). Yangın sonrası ortaya çıkan en önemli materyal ise küldür (Reyes ve Casal 2006). Bitki örtüsünün yoğunluğu, dağılımı, yangın şiddeti ve tipi gibi faktörlere bağlı olarak toprak yüzeyi farklı yoğunluklarda kül tabakasıyla kaplanmakta yanan bitkilerdeki besin elementleri kül formunda toprağa geçerek ekosisteme geri kazandırılmaktadır. Bu nedenle odun külü, ekosistemlerde hem bir yan ürün hem de organik toprak düzenleyicilerden biri olarak değerlendirilmektedir (Şimşek Erşahin ve Kavdır 2015).

Odun külü içerdiği kalsiyum, potasyum, sodyum ve magnezyum gibi makro besin elementleriyle toprak-bitki sistemini doğrudan besleyici etkilere sahiptir. Bununla birlikte yanma sırasında azot, karbon, oksijen ve hidrojenin kaybolması nedeniyle külün organik içeriği sınırlıdır. Ayrıca alkali bileşikler içermesi sebebiyle toprak pH'sını yükselterek özellikle asidik toprakların nötralizasyonuna katkı sağlamaktadır. Bu yönüyle odun külü ekosistemler ve tarımsal üretim için hem avantajlı hem de dikkatle yönetilmesi gereken bir girdidir.

Bununla birlikte külün ekosistemlerdeki etkisi her zaman olumlu olmayabilir. Yüksek pH düzeyi (Thomas ve Wein 1990) ve düşük ozmotik potansiyel, tohum embriyolarının su alımını kısıtlayarak çimlenme sürecini olumsuz etkileyebilmektedir (Ne'eman vd. 1993). Yoğun kül tabakalarının varlığı da tohum çimlenmesini baskılayıcı yönde etki gösterebilmektedir (Kutiel ve Kutiel 1989; Izhaki vd. 1992; Ne'eman vd. 1992; Reyes vd. 2015; Atar vd. 2023). Öte yandan, kül yoluyla toprağa aktarılan mineral elementlerin fidan gelişimini destekleyici rol oynayabildiği de bildirilmektedir (Vance 1996; Reyes ve Casal 1998; Reyes vd. 2015; Demeyer vd. 2001). Dolayısıyla, külün etkileri hem olumlu hem de olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir.

Bu durum, ormancılık araştırmalarında odun külünün daha detaylı incelenmesine zemin hazırlamıştır. Nitekim yapılan çalışmalar, kül uygulamalarının tohumların çimlenme engellerinin giderilmesinde (Göktürk ve Yılmaz 2015) ve fidanların biyokütle artışının belirlenmesinde (Reyes ve Casal 1998; Reyes vd. 2015; Ots vd. 2017) önemli bulgular sunduğunu göstermektedir. Özellikle alıç (*Crataegus* sp.) (Göktürk ve Yılmaz 2015; Baba 2017; Göktürk ve Yıldırım 2020; Gokturk vd. 2021) ve ardıç (*Juniperus* sp.)

(Gültekin vd. 2003) gibi türlerde yapılan araştırmalar, kül uygulamalarının çimlenme oranlarını artırabildiğini ortaya koymuştur. Benzer şekilde fidan gelişimine yönelik araştırmalarda da külün büyüme parametrelerini olumlu yönde etkilediği bildirilmektedir (Reyes ve Casal 1998; Reyes vd. 2015).

Külün bitki gelişimi üzerindeki bu olumlu etkilerinin, içerdiği mineral elementlerden kaynaklandığı düşünülmektedir (Vance 1996; Demeyer vd. 2001). Ancak, azotun yanma sırasında uçucu hale gelmesi nedeniyle kül içerisindeki düşük azot miktarı, özellikle azot sınırlı ekosistemlerde önemli bir kısıt oluşturmaktadır. Buna karşılık turbalık alanlarda P ve K sınırlayıcı elementler olduğundan kül uygulamalarının bu ortamlarda ağaç gelişimi üzerinde yararlı etkiler yarattığı bildirilmiştir (Moilanen vd. 2005; Ernfors vd. 2010; Vaatainen vd. 2011). Öte yandan toprak pH'sındaki aşırı artış bazı mikro besin elementlerinin alınabilirliğini azaltabilmekte ve özellikle iğne yapraklı türlerde kloroz, sararma ve kök çürüklüğü gibi olumsuzluklara yol açabilmektedir (Yahyaoglu ve Ölmez 2003). Bu bulgular, külün yararlı etkilerinin yanında potansiyel riskler de barındırdığını ortaya koymaktadır.

Külün kimyasal bileşiminin sabit olmaması da bu farklı etkilerin temel nedenlerinden biridir. Nitekim, odun külünün bileşimi; ağaç türü, odunun sertlik derecesi, yanma ortamı ve sıcaklığı, kullanılan teknoloji ve kaynaklara bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir (Pitman 2006; Parn vd. 2010). Sert odunlu türlerden elde edilen küller daha yüksek K ve P içerirken yumuşak odunlu türlerden elde edilen küller daha fazla Ca ve Si içermektedir. Ayrıca karışık kül uygulamalarının ağaç biyokütlesinde önemli artışlara yol açtığı da belirlenmiştir (Kikamagi vd. 2014; Ots vd. 2017). Özellikle ağır hasar görmüş orman ekosistemlerinde yapılan çalışmalar odun külü ve yağlı şist külü uygulamalarının sarıçam meşcerelerinin sağlık durumunu iyileştirdiğini ortaya koymuştur (Terasmaa ve Sepp 1994; Terasmaa ve Pikk 1995; Kikamagi ve Ots 2010; Kikamagi vd. 2014; Agurajjuja vd. 2015).

Sarıçam hem ülkemizde hem de dünya genelinde geniş yayılış gösteren, yangına duyarlı ekosistemlerin başlıca türlerinden biridir. Bu nedenle özellikle son yıllarda yaşanan büyük ölçekli yangınlardan en fazla etkilenen türlerden biri haline gelmiştir. Turna ve Bilgili (2006), sarıçam ormanlarında yangınların taç örtüsünü azaltarak tohumların daha fazla ışık almasına olanak tanıdığını ve bu durumun çimlenme üzerinde olumlu etkiler yaratabileceğini belirtmektedir. Bununla birlikte yangın sonrası artan ışık koşullarının fidan gelişimini

desteklemesi beklenirken kül yoğunluğuna bağlı olarak yükselen toprak pH'sının fidan gelişimi üzerinde olumsuz sonuçlar doğurabileceği de göz ardı edilmemelidir.

Bu çalışmanın temel amacı, yangın sonrası ekosistemlerde ortaya çıkan odun külünün sarıçam fidanlarının morfolojik özellikleri üzerindeki etkilerini belirlemektir. Bu kapsamda, farklı yaş gruplarındaki fidanlarda odun külü uygulamalarının kök boğazı çapı, boy, kök ve gövde kuru ağırlıkları gibi büyüme parametreleri üzerindeki etkilerinin ortaya konulmasını hedeflenmektedir. Böylece, odun külünün toprak ve bitki sistemi açısından potansiyel bir organik düzenleyici olarak kullanılıp kullanılmayacağı değerlendirilecek ve fidan üretiminde alternatif bir girdi olarak uygulanabilirliği konusunda bilimsel veriler sunulacaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Bu çalışmada deneme materyali olarak Trabzon Of Orman Fidanlık Şefliğinden temin edilen 1+0 ve 2+0 yaşındaki sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) fidanları kullanılmıştır. Fidanların yetiştirilmesinde odun külü, kömür külü, torf ve orman toprağı olmak üzere dört farklı yetiştirme ortamı değerlendirilmiştir. Odun külü, meşe-gürgen odunlarının ekmek fırınında yakılmasıyla; kömür külü ise kalorifer kazanlarında yakılan ısı kömürlerinden elde edilmiştir. Kullanım öncesinde her iki kül materyali de 2 mm gözenek çapına sahip elekten geçirilmiştir. Torf materyali olarak ithal sterilize torf temin edilmiş; orman toprağı ise Artvin Saçinka İşletme Şefliği'ndeki kayın meşcerelerinden üst toprak alınarak elenmiştir. Denemede, 14 × 35 cm boyutlarında polietilen tüpler (fidan poşetleri) kullanılmıştır.

Yetiştirme ortamlarının hazırlanması, fidanların tüplere alınması ve vejetasyon dönemi süresince gelişimlerinin izlenmesi, Artvin Çoruh Üniversitesi Ormancılık Uygulama ve Araştırma Merkezi Fidanlığı'nda yürütülmüştür. Deneme süresince fidanlara düzenli sulama, ot alma ve bakım uygulamaları yapılmıştır.

Fidanların tüplere alınması işlemi 28 Ekim 2020 tarihinde gerçekleştirilmiş; 22 Eylül 2021 tarihinde ise morfolojik ölçümler için söküm yapılmıştır. Morfolojik özelliklere ilişkin ölçüm ve değerlendirmeler,

Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Tohum ve Ağaçlandırma Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

2.2. Yöntem

2.2.1. Odun Külü Uygulaması

Odun külü uygulamalarında oranlar, fidanlıklarda pratik ölçü birimi olarak kullanılan kürek atım sayısına göre belirlenmiştir. Karışımlar hazırlanırken Tablo 1'de verilen oranlar esas alınmıştır. Söz konusu oranlarda, ilk değer karışıma ilave edilen fidanlık toprağı miktarını, ikinci değer ise ilave edilen kül miktarını ifade etmektedir.

Tablo 1. Odun külü uygulamasında kullanılan kül oranları

Sıra	Oran	Kül Kaynağı	Ortamdaki Külün Oranı	Uygulama*
1	3/1	Odun	%25	3/1 OK
2	5/1	Odun	%17	5/1 OK
3	7/1	Odun	%13	7/1 OK
4	5/1	Kömür	%17	5/1 KK
5	Kontrol	-	% 0	K

*OK: Odun Külü, KK: Kömür Külü, K: Kontrol

Kömür külü, fidanların gelişimine olumsuz etkisinin olabileceği düşüncesiyle yalnızca odun külünün etkilerinin değerlendirilebilmesi amacıyla tek bir oranda uygulanmıştır. Fidanların yetiştirilmesinde kül uygulamalarının etkilerini ortaya koyabilmek için kontrol grubu olarak kül karıştırılmamış fidanlık toprağı kullanılmıştır. Fidanlık toprağı, 5:1:1:1 oranında orman toprağı, torf, perlit ve yanmış koyun gübresinin karıştırılmasıyla hazırlanmıştır.

2.2.2. Deneme Deseni

Polietilen tüplere alınan fidanlar, üç tekrarlı “Rastlantı Blokları Deneme Deseni”ne göre fidanlık koşullarında ekim yastıklarına tesadüfi olarak yerleştirilmiştir. Kontrol ve her bir karışım oranı için, her tekrarda 30 adet fidan kullanılmış olup toplamda 90 fidan değerlendirilmiştir.

Denemede iki yaş grubu (1+0 ve 2+0), dört karışım oranı (odun külü: 3/1, 5/1, 7/1; kömür külü: 5/1) ve kontrol grubu dikkate alınarak toplam 10 uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, denemede kullanılan toplam fidan sayısı 900'dür.

2.2.3. Fidanların Morfolojik Özelliklerinin Belirlenmesi

Morfolojik özelliklerin belirlenmesine yönelik ölçümler fidanlar tüplere alınmadan önce ve tüplere alınmalarını takiben yaklaşık bir yıl sonra ilk vejetasyon dönemi sonunda gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerden önce laboratuvara getirilen fidanların kökleri, zarar vermeden bol su ile yıkanarak topraktan temizlenmiştir.

Odun külü uygulamalarının fidan gelişimi üzerindeki etkilerini ortaya koymak amacıyla aşağıda belirtilen morfolojik özellikler değerlendirilmiştir:

- Kök boğaz çapı (mm)
- Fidan boyu (cm)
- Gövde taze ağırlığı (g)
- Gövde kuru ağırlığı (g)
- Kök taze ağırlığı (g)
- Kök kuru ağırlığı (g)
- Fidan kuru ağırlığı (g)

Fidan boyu ölçümleri, cetvel kullanılarak gövdenin toprak yüzeyi ile tepe tomurcuğu arasındaki mesafe esas alınarak yapılmıştır. Kök boğaz çapı, fidan gövdesinin toprak yüzeyine en yakın kısmından dijital çap ölçer ile milimetre hassasiyetinde ölçülmüştür. Ölçümlerde, her yaş grubundan ve her karışımdan 30'ar adet olmak üzere toplamda 300 fidan değerlendirilmiştir.

Boy ve kök boğaz çapı ölçümleri tamamlanan fidanlar, kök boğazından kesilerek kök ve gövdeleri ayrılmıştır. Ayrılan kısımların yaş ağırlıkları, 0.0001 g hassasiyetindeki terazide ayrı ayrı tartılmıştır. Tartım işlemi sonrası kök ve gövdeler, 105 °C sıcaklıkta 24 saat kurutma fırınında bekletilmiştir. Kurutma işlemi tamamlandıktan sonra kök ve gövde örneklerinin kuru ağırlıkları belirlenmiştir.

2.2.4. Kalite Kriterleri

Fidan kalitesinin belirlenmesinde ve odun külü uygulamalarının fidan kalitesi üzerindeki etkilerinin ortaya konulmasında, ölçümü yapılan fidan boyu, kök boğaz çapı, gövde kuru ağırlığı ve gövde taze ağırlığı değerleri kullanılarak hesaplanan katlılık, gürbüzlük indisi, kuru kök yüzdesi ve Dickson kalite indeksi ölçütleri kullanılmıştır.

- Katlılık (K) = Gövde Kuru Ağırlığı / Kök Kuru Ağırlığı

- Gürbüzlük İndisi (Gİ) = Fidan Boyu (mm) / Kök Boğaz Çapı (mm) (Aphalo ve Rikala 2003)
- Kuru Kök Yüzdesi (KKY) = (Kuru Kök Ağırlığı / Fidan Kuru Ağırlığı) × 100
- Dickson Kalite İndeksi (DKİ) = Fidan Kuru Ağırlığı / (Gürbüzlük İndisi + Katlılık)

Gürbüzlük indisi değerine göre fidanlar; 50'den küçük ($Gİ < 50$) ise kaliteli, 50–60 aralığında ($50 < Gİ < 60$) ise ikinci sınıf ve 60'tan büyük ($Gİ > 60$) ise üçüncü sınıf olarak sınıflandırılmıştır (Yahyaoglu ve Genç, 2007). Katlılık değerine göre fidanlar; 3'ten küçük ($K < 3$) ise birinci sınıf, 3–4 aralığında ($3 < K < 4$) ise ikinci sınıf ve 4'ten büyük ($K > 4$) ise üçüncü sınıf olarak değerlendirilmiştir. Dickson kalite indeksi değerinin 1'e yakın veya 1'den büyük olması durumunda ise fidanlar kaliteli kabul edilmiştir (Dickson vd. 1960).

2.2.5. Verilerin Değerlendirilmesi

Fidanların morfolojik özellikleri ve kalite kriterleri üzerine odun külü ve kömür külü uygulamalarının etkilerini belirlemek amacıyla tek yönlü varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Farklı yaş gruplarındaki (1+0 ve 2+0) fidanlarda kül uygulamalarının etkilerini karşılaştırmak üzere ise bağımsız iki örneklem t-testi kullanılmıştır.

Analizlerde anlamlılık düzeyi %95 güven aralığı esas alınmış olup, $p < 0.05$ değerleri istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir. Varyans analizi sonucunda, odun külü oranlarına bağlı olarak fidanların morfolojik özellikleri ve kalite kriterlerinde anlamlı farklılıkların bulunması halinde, farklı karışım oranlarının fidan gelişimi üzerindeki etkilerini ayrıntılı biçimde karşılaştırmak için Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. Tüm istatistiksel değerlendirmeler SPSS 19.0 istatistik paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Fidanların Morfolojik Özellikleri

Kül uygulamalarında materyal olarak kullanılan 1+0 yaşındaki fidanların kök boğaz çaplarının 2,07 mm ile 5,39 mm arasında, boylarının ise 52,0 mm ile

165,0 mm arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu fidanlarda ortalama kök boğaz çapı 3,61 mm, ortalama boy ise 92,8 mm olarak tespit edilmiştir.

2+0 yaşındaki fidanlarda kök boğaz çaplarının 3,88 mm ile 9,46 mm, boylarının ise 16,50 cm ile 39,30 cm arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu yaş grubundaki fidanların ortalama kök boğaz çapı 6,40 mm, ortalama boyu ise 28,61 cm olarak ölçülmüştür. Fidanların diğer morfolojik özelliklerine ilişkin bulgular Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Materyal olarak kullanılan 1+0 ve 2+0 yaşındaki sarıçam fidanlarının morfolojik özellikleri

Morfolojik Özellikler	1+0		2+0	
	Ortalama	En B. – En K.	Ortalama	En B. – En K.
Kök Boğaz Çapı (mm)	3,61	5,39 - 2,07	7,11	9,46 - 3,88
Fidan Boyu (mm)	92,8	165,0 - 52,0	286,1	393,0 - 165,0
Yaş Kök Ağırlığı (g)	1,88	4,15 - 0,44	7,18	19,31 - 1,42
Yaş gövde Ağırlığı (g)	4,36	12,05 - 0,62	16,89	77,30 - 3,91
Kuru Kök Ağırlığı (g)	0,59	1,23 - 0,21	2,70	7,47 - 0,65
Kuru Gövde Ağırlığı (g)	1,26	6,67 - 0,23	5,81	11,24 - 1,54
Fidan Kuru Ağırlığı (g)	1,85	7,06 - 0,48	8,52	16,18 - 2,36

Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre, 1+0 yaşındaki sarıçam fidanlarında uygulanan kül oranlarının, fidan boyu, yaş kök ağırlığı ve kuru kök ağırlığı dışındaki morfolojik özellikler üzerinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklara yol açtığı belirlenmiştir ($p < 0,05$). Buna göre, ortama eklenen kül oranının kök boğaz çapı, yaş gövde ağırlığı, kuru gövde ağırlığı ve fidan kuru ağırlığı üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde, 2+0 yaşındaki fidanlarda da morfolojik özelliklerin tamamında kül oranına bağlı olarak anlamlı farklılıkların ortaya çıktığı görülmüştür. Bu yaş grubunda ortama eklenen kül oranının fidan boyu, kök boğaz çapı, yaş gövde ağırlığı, kuru kök ağırlığı, kuru gövde ağırlığı ve fidan kuru ağırlığı üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir ($p < 0,05$) (Tablo 3). Dolayısıyla, elde edilen bulgular kül uygulamalarının her iki yaş grubunda da fidan gelişimini önemli ölçüde etkilediğini göstermekte olup, odun külünün fidan morfolojisi üzerinde dikkate değer bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 3. 1+0 ve 2+0 yaşındaki sarıçam fidanlarının morfolojik özelliklerinin farklı kül oranlarına göre varyans analizi sonuçları

Morfolojik Özellikler	1+0		2+0	
	F-Oranı	Önem Düzeyi	F-Oranı	Önem Düzeyi
Fidan Boyu (mm)	2,00	0,10	4,573	0,00
Kök Boğaz Çapı (mm)	46,48	0,00	3,503	0,01
Yaş Kök Ağırlığı (g)	2,83	0,05	5,982	0,00
Yaş gövde Ağırlığı (g)	5,81	0,00	4,720	0,00
Kuru Kök Ağırlığı (g)	1,24	0,30	10,521	0,00
Kuru Gövde Ağırlığı (g)	4,98	0,00	8,265	0,00
Fidan Kuru Ağırlığı (g)	2,87	0,03	9,330	0,00

1+0 yaşındaki sarıçam fidanlarında 7/1 OK uygulaması, kök boğaz çapı, yaş gövde ağırlığı ve kuru gövde ağırlığı bakımından en yüksek değerlerin elde edildiği oran olmuştur. Diğer morfolojik özelliklerde de 7/1 OK oranı sayısal olarak en yüksek değerlere sahip olmakla birlikte, istatistiksel açıdan diğer oranlardan farklılık göstermemiştir. Ayrıca, kök boğaz çapı bakımından 7/1 OK oranı dışındaki tüm kül uygulamalarında kontrol grubuna kıyasla daha düşük değerler elde edilmiştir. Kuru gövde ağırlığı açısından ise en düşük değer, kül oranının en yüksek olduğu 3/1 OK uygulamasından elde edilmiştir (Tablo 4).

2+0 yaşındaki sarıçam fidanlarında ise en yüksek fidan boyu kontrol uygulamasında (404,50 mm), en yüksek kök boğaz çapı ise sırasıyla 5/1 OK (8,75 mm), kontrol (8,49 mm), 7/1 OK (8,44 mm) ve 5/1 KK (8,21 mm) uygulamalarında ölçülmüştür. Bu yaş grubunda en yüksek yaş kök (10,87 g) ve kuru kök (6,09 g) ağırlıkları 5/1 OK uygulamasından, en yüksek yaş gövde (28,97 g) ve kuru gövde (13,85 g) ağırlıkları ile en yüksek fidan kuru ağırlığı (18,70 g) ise kontrol uygulamasından elde edilmiştir.

1+0 yaşındaki sarıçam fidanlarında kök boğaz çapı, yaş gövde ağırlığı, kuru gövde ağırlığı ve fidan kuru ağırlığı açısından en yüksek değerleri sağlayan uygulamanın 7/1 OK olduğu görülmektedir. Buna karşılık, 2+0 yaşındaki fidanlarda fidan boyu, yaş gövde ağırlığı ve kuru gövde ağırlığı bakımından kontrol uygulamasının öne çıktığı; kök boğaz çapı, yaş kök ağırlığı, kuru kök ağırlığı ve fidan kuru ağırlığı bakımından ise en yüksek değerlerin 5/1 OK uygulamasında elde edildiği belirlenmiştir. Ayrıca, 1+0 yaşındaki fidanlarda yaş gövde, kuru gövde ve fidan kuru ağırlığı özelliklerinde 5/1 OK uygulamasının 7/1 OK uygulamasından istatistiksel olarak farklılık göstermediği ve aynı grupta yer aldığı saptanmıştır. Bu sonuç, 5/1 OK

uygulamasının hem 1+0 hem de 2+0 yaşındaki sarıçam fidanlarının morfolojik özelliklerini iyileştirmede etkili bir uygulama olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır.

Tablo 4. 1+0 ve 2+0 yaşındaki sarıçam fidanlarının morfolojik özelliklerinin farklı kül oranlarına göre Duncan Testi sonuçları

Kül Oranı	FB	KBÇ	YKA	YGA	KKA	KGA	FKA
1+0							
3/1 OK	154,67 a	5,46 c	3,96 a	5,52 b	1,56 a	2,12 c	3,69 b
5/1 KK	160,87 a	5,44 c	4,25 a	7,22 b	2,45 a	3,47 abc	5,91 a
5/1 OK	178,5 a	5,83 c	4,59 a	8,48 ab	2,04 a	3,85 ab	5,89 a
7/1 OK	191,03 a	11,56 a	5,65 a	10,83 a	2,46 a	4,44 a	6,90 a
K	161,4 a	9,58 b	3,73 a	6,96 b	2,19 a	2,91 bc	5,11 ab
2+0							
3/1 OK	347,89 b	7,53 b	6,89 c	21,57 b	2,9 c	8,55 c	11,4 d
5/1 KK	350,07 b	8,21 ab	9,02 b	21,44 b	4,72 b	9,93 bc	14,6 c
5/1 OK	370,64 b	8,75 a	10,9 a	24,86 b	6,09 a	11,2 b	17,3 ab
7/1 OK	342,5 b	8,44 a	9,07 b	23,77 b	4,72 b	11,1 b	15,9 bc
K	404,5 a	8,49 a	8,62 b	28,97 a	4,86 b	13,9 a	18,7 a

Genel olarak değerlendirildiğinde, farklı kül uygulamaları her iki yaş grubunda da fidan gelişimi üzerinde etkili olmuş; ancak morfolojik özelliklerin hangi uygulamaya daha duyarlı olduğu yaş gruplarına göre değişiklik göstermiştir. Bu durum, sarıçam fidanlarının gelişiminde kül uygulamalarına verilen yanıtların fidan yaşına bağlı olarak farklılaştığını ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, külün farklı bitki türlerinde büyüme parametrelerini olumlu veya olumsuz yönde etkilediği daha önce de bildirilmiştir (Reyes ve Casal 2006; Baeza vd. 2007; Şimşek Erşahin ve Kavdır 2015). Dolayısıyla, elde edilen bulgular kül uygulamalarının kontrollü ve uygun oranlarda kullanılması durumunda fidan yetiştiriciliğinde alternatif bir yetiştirme ortamı bileşeni olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir.

3.1.2. Fidanların Kalite Ölçütleri

Çalışmada materyal olarak kullanılan 1+0 yaşındaki sarıçam fidanlarının gürbüzlük indisi 26,29, kuru kök yüzdesi %35,64, katlılık değeri 2,28 ve Dickson kalite indeksi 0,07 olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde, 2+0 yaşındaki

fidanların gürbüzlük indisi 40,75, kuru kök yüzdesi %32,15, katlılık değeri 2,24 ve Dickson kalite indeksi 0,21 olarak tespit edilmiştir (Tablo 5).

Tablo 5. Materyal olarak kullanılan 1+0 ve 2+0 yaşındaki sarıçam fidanlarının kalite kriterleri

Kalite Ölçütleri	1+0		2+0	
	Ortalama	En B, – En K,	Ortalama	En B, – En K,
Gürbüzlük İndisi	26,29	43,22 - 14,19	40,75	53,20 - 21,21
Kuru Kök Yüzdesi	35,64	56,90 - 5,52	32,15	56,51 - 22,45
Katlılık	2,28	17,10 - 0,76	2,24	3,45 - 0,77
Dickson Kalite İndeksi	0,07	0,19 - 0,01	0,21	0,44 - 0,04

1+0 yaşındaki sarıçam fidanlarının kalite ölçütlerinin kül oranından etkilenip etkilenmediğini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonucunda, dikkate alınan tüm kalite kriterlerinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir ($p < 0,05$). Bu bulgu, kül oranının 1+0 yaşındaki fidanların kalite kriterleri üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, 2+0 yaşındaki sarıçam fidanlarında da kalite kriterlerinin kül oranlarına bağlı olarak istatistiksel açıdan anlamlı farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir ($p < 0,05$). Diğer bir ifadeyle, kül oranı 2+0 yaşındaki fidanların kalite kriterlerini önemli ölçüde etkilemiş ve uygulamalara göre bu kriterler değişkenlik göstermiştir (Tablo 6).

Tablo 6. Fidanların kalite ölçütlerinin farklı kül oranlarına bağlı olarak değişimini ortaya koyan varyans analizi sonuçları

Değişken	1+0		2+0	
	F-Oranı	Önem Düzeyi	F-Oranı	Önem Düzeyi
Gürbüzlük İndisi	16,45	0,00	3,139	0,02
Kuru Kök Yüzdesi	8,96	0,00	8,866	0,00
Katlılık	7,66	0,00	11,477	0,00
Dickson Kalite İndeksi	6,15	0,00	6,340	0,00

1+0 yaşındaki sarıçam fidanlarının gürbüzlük indisine göre tüm kül uygulamalarında fidanların kaliteli sınıfta yer aldığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, kontrol grubu ile 7/1 OK oranında yetiştirilen fidanların gürbüzlük indisleri bakımından daha yüksek değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Diğer kül oranlarında yetiştirilen fidanlar da kaliteli sınıfta yer almakla birlikte, başlangıç değerlerine kıyasla daha yüksek gürbüzlük indisi göstermiştir. Kuru

kök yüzdesi açısından ise en yüksek değer 3/1 OK uygulamasında, en düşük değer ise 7/1 OK oranında yetiştirilen fidanlarda saptanmıştır (Tablo 7).

Tablo 7. Fidanların kalite ölçütlerinin farklı kül oranlarına bağlı olarak değişimini ortaya koyan varyans Duncan Testi sonuçları

Kül Oranı	Gümbüzlük İndisi	Kuru Kök Yüzdesi	Katlılık	Dickson Kalite İndeksi
1+0				
3/1 OK	30,72 a	44,27 a	1,29 c	0,13 c
5/1 KK	32,26 a	41,60 ab	1,46 bc	0,19 bc
5/1 OK	31,65 a	33,93 c	2,11 a	0,21 bc
7/1 OK	16,61 b	35,97 bc	1,86 ab	0,38 a
Kontrol	18,49 b	42,22 a	1,42 bc	0,30 ab
2+0				
3/1 OK	46,93 ab	25,89 c	3,27 a	0,24 b
5/1 KK	42,90 bc	31,95 ab	2,23 bc	0,33 a
5/1 OK	42,84 bc	35,26 a	1,92 c	0,40 a
7/1 OK	41,81 c	29,60 bc	2,48 b	0,39 a
Kontrol	48,28 a	26,29 c	3,08 a	0,38 a

2+0 yaşındaki fidanlarda gümbüzlük indisi değerlerinin en yüksek kontrol uygulamasında, en düşük ise 7/1 OK uygulamasında gerçekleştiği belirlenmiştir (Tablo 7). Gümbüzlük indisi değerlerinin tamamı kalite sınır değeri olan 50'nin altında olduğundan hem kontrol hem de diğer kül uygulamalarında fidanların birinci kalite sınıfında yer aldığı sonucuna ulaşılmıştır. Duncan testi sonuçları dikkate alındığında ise gümbüzlük indisi bakımından en kaliteli fidanların 7/1 OK uygulamasında yetiştigi görülmektedir.

Kuru kök yüzdesi bakımından, kül uygulamasının 1+0 yaşındaki fidanlarda etkili olmadığı, ancak 2+0 yaşındaki fidanlarda kuru kök yüzdesini artırdığı tespit edilmiştir. Bu artışta özellikle 5/1 OK ve 5/1 KK uygulamalarının etkili olduğu belirlenmiştir.

Katlılık ölçütüne göre incelenen bütün fidanlar kaliteli sınıfta yer almakla birlikte, Dickson kalite indisi açısından bunun tersi bir durum ortaya çıkmaktadır. Katlılık ölçütünde değerin büyümesi kalitenin azalmasına işaret ettiğinden, 3/1 oranında yetiştirilen fidanların kontrol grubuyla aynı istatistiksel grupta bulunmasına rağmen sayısal olarak daha kaliteli oldukları görülmektedir.

Tablo 7 incelendiğinde, 1+0 yaşındaki fidanlarda bazı kül uygulamalarının kalite üzerinde etkili olmasına rağmen kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık oluşturmadığı görülmektedir. Buna karşın, 2+0 yaşındaki fidanlarda tüm kalite ölçütlerini etkileyen uygulamanın 5/1 OK olduğu belirlenmiştir. Bu bulgu, kalite ölçütlerinin iyileştirilmesi açısından 1+0 yaşındaki fidanlarda odun külü uygulamasının etkili bir yöntem olmadığını, 2+0 yaşında ise 5/1 OK uygulamasının öne çıktığını göstermektedir.

Genel olarak kalite ölçütleri değerlendirildiğinde, farklı yaş gruplarındaki fidanların kül uygulamalarına verdikleri yanıtların değişkenlik gösterdiği ve odun külünün etkisinin fidan yaşına bağlı olarak farklılaştığı anlaşılmaktadır. Literatürde de benzer şekilde, kül uygulamalarının farklı türlerde fidan gelişimini ve kalite kriterlerini değişken biçimde etkileyebildiği rapor edilmiştir (Reyes ve Casal 2006; Baeza vd. 2007; Genç ve Yahyaoğlu 2007; Şimşek Erşahin ve Kavdır 2015).

3.3. Fidan Yaşına Bağlı Olarak Odun Külünün Etkileri

Fidan yaşının artmasına bağlı olarak morfolojik özelliklerde daha yüksek değerlere ulaşılması beklenen bir durumdur. Ancak odun külünün etkisinin hangi yaş grubunda daha belirgin olduğunun belirlenmesinde yalnızca morfolojik özelliklerin kullanılması, yaşça büyük fidanların doğal olarak daha iyi gelişim göstermesi nedeniyle odun külünün yaşa bağlı etkisinin tespitini güçleştirebilir. Bu nedenle, fidan yaşına göre odun külünün etkisini değerlendirmede morfolojik özelliklerden elde edilen mutlak değerler yerine, bu özelliklerin oranlanmasıyla hesaplanan kalite ölçütlerinin kullanılması daha sağlıklı sonuçlar verebilir.

Sarıçam fidanlarında fidan yaşına bağlı olarak kalite ölçütlerinde değişim olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılan t-testi sonuçlarına göre, kontrol ve kül uygulamalarında gürbüzlük indisi, kuru kök yüzdesi ve katlılık ölçütlerinde yaşa bağlı farklılıkların ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Buna karşın, Dickson kalite indeksi bakımından yalnızca 5/1 KK ve 7/1 OK uygulamalarında yaşa göre anlamlı bir farklılık gözlenirken, diğer uygulamalarda fidan yaşları arasında herhangi bir farklılık saptanmamıştır (Tablo 8).

Tablo 8. Fidan yaşına göre kül etkisinin değişip değişmediğini gösteren T testi sonuçları

Kül Oranı		Gürbüzlük İndisi	Kuru Kök Yüzdesi	Katlılık	Kalite İndeksi
3/1 OK	t	-2,89	3,93	-2,12	-1,45
	Önem Düzeyi	0,01	0,00	0,04	0,16
5/1 KK	t	-3,79	5,62	-5,64	-4,71
	Önem Düzeyi	0,00	0,00	0,00	0,00
5/1 OK	t	-4,54	-0,75	1,10	-4,14
	Önem Düzeyi	0,00	0,45	0,28	0,00
7/1 OK	t	-12,75	4,37	-4,16	-0,12
	Önem Düzeyi	0,00	0,00	0,00	0,91
Kontrol	t	-12,73	7,46	-9,49	-1,61
	Önem Düzeyi	0,00	0,00	0,00	0,11

Gürbüzlük indisi ve kuru kök yüzdesi sonuçları, 1+0 yaşındaki fidanların genel olarak daha kaliteli gelişim gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, genç fidanlarda kök–gövde oranının daha dengeli olması ve erken yaşlarda besin elementlerinin daha etkin kullanılmasına bağlanabilir. Nitekim genç fidanlarda daha yüksek gürbüzlük değerleri elde edilmesi, literatürde de sıklıkla vurgulanan bir durumdur (Duryea ve Landis 1984; Thompson 1985).

Buna karşın, katlılık ölçütünde yalnızca 3/1 OK ve kontrol uygulamalarında 2+0 yaşındaki fidanların ikinci kalite sınıfında kaldığı, diğer uygulamalarda ise her iki yaş grubunun da birinci kalite sınıfında değerlendirildiği görülmektedir. Bu bulgu, odun külünün özellikle gövde–boy oranı üzerinde olumlu bir etki oluşturduğunu düşündürmektedir.

Kalite indisi bakımından ise genel eğilim, her iki yaş grubunda da fidanların büyük ölçüde kaliteli sınıfta değerlendirilemeyeceğini göstermektedir. Ancak, kalite indisi değerlerinin 1'e yakınlığı dikkate alındığında, 5/1 OK ve 5/1 KK uygulamalarında 2+0 yaşındaki fidanların daha yüksek kalite sergilediği tespit edilmiştir. Benzer şekilde, literatürde de kül veya mineral katkılarının fidan kalitesi üzerinde yaşa bağlı farklı etkiler oluşturabileceği, genç yaşlarda morfolojik özelliklerin belirgin avantaj sağlarken, ileri yaşlarda özellikle kalite indeksinin bazı uygulamalarda öne çıktığı bildirilmiştir (Ritchie 1984; Mexal ve Landis 1990).

Elde edilen bulgular, odun külünün fidan yaşına bağlı olarak farklı etkiler ortaya koyabileceğini; 1+0 yaşta morfolojik üstünlüklerin, 2+0 yaşta ise belirli

uygulamalarda kalite ölçütlerindeki iyileşmelerin ön plana çıktığını göstermektedir (Tablo 9).

Tablo 9. Fidan yaşı ve kül oranına göre fidan kalite ölçütlerinin değerleri

Kalite Ölçütü	Yaş	3/1 OK	5/1 KK	5/1 OK	7/1 OK	Kontrol
Gürbüzlük İndisi	1	30,72	32,26	31,65	16,61	18,49
	2	46,93	42,90	42,84	41,81	48,28
Kuru Kök	1	44,27	41,60	33,93	35,97	42,22
	2	25,89	31,95	35,26	29,60	26,29
Katlılık	1	1,29	1,46	2,11	1,86	1,42
	2	3,27	2,23	1,92	2,48	3,08
Dickson Kalite İndeksi	1	0,13	0,19	0,21	0,38	0,30
	2	0,24	0,33	0,40	0,39	0,38

3.4. Fidanların Yaşama Yüzdeleri

Kül oranlarına bağlı olarak fidanların yaşama yüzdeleri incelendiğinde, 1+0 yaşındaki sarıçam fidanlarında bu değerlerin %3,3–%90, 2+0 yaşındaki fidanlarda ise %31,11–%77,78 arasında değiştiği belirlenmiştir. Her iki yaş grubunda da en düşük yaşama yüzdesi 3/1 OK uygulamasında tespit edilmiştir (Tablo 10). Bu sonuç, kül oranının artışıyla birlikte fidanların yaşama yüzdelерinde belirgin azalmalar meydana geldiğini göstermektedir.

Literatürde de benzer şekilde, yüksek kül oranlarının toprakta pH yükselmesine, tuzluluk artışına ve ağır metal birikimine yol açarak fidanların yaşama başarısını olumsuz etkilediği bildirilmektedir (Demeyer vd. 2001; Augusto vd. 2008). Ayrıca besin elementlerindeki dengesizlik ve kök bölgesinde su alımının kısıtlanması da fidan kayıplarını artıran etmenler arasında yer almaktadır (Vance 1996). Bu bağlamda, düşük ve orta düzeydeki kül uygulamalarının yaşama oranlarını destekleyici rol oynayabileceği, yüksek oranlardaki uygulamaların ise fidan canlılığı üzerinde baskı oluşturabileceği söylenebilir.

Tablo 10. Fidan yaşı ve kül oranına göre fidanların yaşama yüzdeleri

Fidan Yaşı	Kül Oranı	Toplam Fidan Sayısı	Kuruyan Fidan Sayısı	Yaşama Yüzdesi (%)
1+0	3/1 OK	90	87	3,33
1+0	5/1 KK	90	67	25,56
1+0	5/1 OK	90	9	90,00
1+0	7/1 OK	90	49	45,56
1+0	K	90	36	60,00
2+0	3/1 OK	90	62	31,11
2+0	5/1 KK	90	31	65,56
2+0	5/1 OK	90	33	63,33
2+0	7/1 OK	90	20	77,78
2+0	K	90	27	70,00

Çalışmada kül uygulamalarına bağlı olarak ortamın pH değeri ölçülmemekle birlikte, odun külünün toprak alkalitesini artırarak pH değerini yükselttiği ve bunun özellikle iğne yapraklı türlerde olumsuz etkilere yol açabileceği yapılan çalışmalarda rapor edilmiştir (Ozolinčius vd. 2007; Kikamägi vd. 2014; Brais vd. 2015; Huotari vd. 2015). Nitekim Yahyaoğlu ve Ölmez (2003), sarıçam gibi önemli iğne yapraklı türlerin yüksek pH değerlerinden olumsuz etkilenebileceğini vurgulamaktadır. Bu açıdan bakıldığında, 3/1 OK uygulamasında yaşama yüzdesinin en düşük seviyede gerçekleşmesi, ortam pH'nın yükselmesine bağlı olarak sarıçam fidanlarının bundan olumsuz etkilenmiş olabileceğini düşündürmektedir.

5. SONUÇ

Odun külü, orman yangınları sonrasında ekosistemin iyileşme sürecinde önemli bir besin kaynağı olarak bitkilere geri dönen unsurlardan biridir. Bu çalışmada, yangın ekosistemlerinin karakteristik türlerinden olan sarıçam fidanlarının yetiştirilmesinde odun külü kullanımının fidanların gelişimi ve kalitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Elde edilen bulgular hem morfolojik özelliklerin hem de kalite ölçütlerinin uygulanan odun külü oranlarına bağlı olarak değiştiğini göstermiştir. Kül oranının artışı kısmen olumsuz etkilere yol açsa da genel olarak hem 1+0 hem de 2+0 yaşındaki fidanların gelişimi üzerinde olumlu sonuçlar ortaya koyduğu belirlenmiştir. Morfolojik özellikler ve kalite ölçütleri arasında farklılıklar bulunmakla birlikte, istatistiksel benzerlikler dikkate alındığında özellikle 5/1 OK uygulamasının öne çıktığı görülmektedir.

Bu sonuçlara dayanarak, 5/1 OK uygulamasının sarıçam fidanlarının yetiştirilmesinde uygun bir yetiştirme ortamı düzenleyicisi olarak kullanılabileceği önerilebilir. Bununla birlikte, odun külünün sarıçam ve diğer türlerdeki etkilerini daha kapsamlı biçimde ortaya koyabilmek için farklı oranlar ve yetiştirme koşullarında yapılacak ilave araştırmaların yararlı olacağı söylenebilir.

KAYNAKLAR

- Aguraijuja, K., Klõšeiko, J., Ots, K., & Lukjanova, A. (2015). Effect of wood ash on leaf and shoot anatomy, photosynthesis and carbohydrate concentrations in birch on a cutaway peatland. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187, 444.
- Aphalo, P., & Rikala, R. (2003). Field performance of silver-birch planting-stock grown at different spacing and in containers of different volume. *New Forests*, 25(2), 93-108.
- Atar, N., Ölmez, Z., Özel, H. B., & Göktürk, A. (2023). Odun külünün Patlangaç (*Colutea armena* Boiss. and Huet) tohumlarının çimlenmesi üzerine etkisi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 24(2), 202-209.
- Augusto, L., Bakker, M. R., & Meredieu, C. (2008). Wood ash applications to temperate forest ecosystems: Potential benefits and drawbacks. *Plant and Soil*, 306(1): 181-198.
- Baba, A. (2017). *Crataegus orientalis* (Pallas ex Bieb.) (doğu alıcı) ve *Crataegus pontica* (K. Koch) (Doğu Karadeniz alıcı) tohumlarının çimlenmesi üzerine katlama, kül çözeltilisinde bekletme ve sülfürik asitte zedeleme ön işlemlerinin etkilerinin araştırılması [Yüksek lisans tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü]. Artvin, Türkiye.
- Baeza, M., Valdecantos, A., Alloza, J., & Vallejo, V. (2007). Human disturbance and environmental factors as drivers of long-term post-fire regeneration patterns in Mediterranean forests. *Journal of Vegetation Science*, 18(2), 243-252.
- Brais, S., Bélanger, N., & Guillemette, T. (2015). Wood ash and N fertilization in the Canadian boreal forest: Soil properties and response of jack pine and black spruce. *Forest Ecology and Management*, 348, 1-14.
- Demeyer, A., Voundi Nkana, J. C., & Verloo, M. G. (2001). Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: An overview. *Bioresource Technology*, 77(3), 287-295.
- Dickson, A., Leaf, A. L., & Hosner, J. F. (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedlings stock in nurseries. *Forestry Chronicle*, 36(1), 10-13.

- Duryea, M. L., & Landis, T. D. (Eds.). (1984). *Forest Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings*. The Hague, The Netherlands: Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers.
- Ernfors, M., Sikström, U., Nilsson, M., & Klemetsson, L. (2010). Effects of wood ash fertilization on forest floor greenhouse gas emissions and tree growth in nutrient poor drained peatland forests. *Science of the Total Environment*, 408(20), 4580–4590.
- Genç, M., & Yahyaoğlu, Z. (2007). Kalite sınıflamasında kullanılan özellikler ve tespiti. In Ed: Z. Yahyaoğlu & M. Genç (Eds.), *Fidan Standardizasyonu* (Yayın No: 75, ss. 65–90) Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi, Isparta.
- Gokturk, A., Kara, E., & Sadıklar, M. S. (2021). The effects of storage temperatures and pretreatments on the germination of azarole (*Crataegus azarolus* var. *pontica*) seeds, *Sumarski List*, 7-8, 355-361.
- Göktürk, A., & Yıldırım, F. (2020). Determination of seed morphologies and effect of pretreatments on germination of *Crataegus monogyna* (Jacq.) and *Crataegus azarolus* var. *pontica* (K. Koch) K. I. Chr seeds. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 20(2), 181-189.
- Göktürk, A., & Yılmaz, S. (2015). Doğu alıcı (*Crataegus orientalis* Paal. ex. M. Bieb) tohumlarının çimlenmesi üzerine ekim alanı, ekim zamanı ve bazı önlemlerin etkilerinin araştırılması *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 16(2), 203-215.
- Gültekin, H. C., Öztürk, H., Gülcü, S., & Divrik, A. (2003). Küçük kozalaklı katran ardıcı (*Juniperus oxycedrus* L. subsp. *oxycedrus*) tohumlarının çimlenme engellerinin giderilmesi üzerine araştırmalar, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(3), 56-52.
- Huotari, N., Tillman-Sutela, E., Moilanen, M., & Laiho, R. (2015). Recycling of ash: For the good of the environment? *Forest Ecology and Management*, 348, 226–240.
- Izhaki, I., Lahav, H. & Ne'eman, G. (1992). Spatial distribution patterns of *Rhus coriaria* seedlings after fire in a Mediterranean pine forest. *Acta Oecologica*, 13: 279-289.
- Keeley, J. E. (2006). Fire management impacts on invasive plant species in the Western United States. *Conservation Biology*, 20(2), 375-384.

- Kikamagi, K., & Ots, K. (2010). Stimulating the growth of trees with ashes of various biofuels (wood, peat) on a cutaway peatland. *Forest Studies (Metsanduslikud Uurimused)*, 52, 60–71.
- Kikamagi, K., Ots, K., Kuznetsova, T., & Pototski, A. (2014). The growth and nutrient status of conifers on ash-treated cutaway peatland. *Trees*, 28, 53–64.
- Kutiel, P. & Kutiel, H. (1989). Effects of a wildfire on soil nutrients and vegetation in an Aleppo pine forest on Mount Carmel Israel. *Pirineos*, 134, 59–74.
- Mack, M., & D'Antonio, C. (1998). Impacts of biological invasions on disturbance regimes. *Trends in Ecology & Evolution*, 13(5), 195–198.
- Mexal, J. G., & Landis, T. D. (1990). Target seedling concepts: height and diameter. In R. Rose, S. J. Campbell, & T. D. Landis (Eds.), *Target Seedling Symposium: Proceedings, Combined Meeting of the Western Forest Nursery Associations* (13–17 August 1990, Roseburg, OR), (General Technical Report RM-200 pp. 17–35). Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station.
- Moilanen, M., Silfverberg, K., Hökka, H., & Issakainen, J. (2005). Wood ash as a fertilizer on drained mires: Growth and foliar nutrients of Scots pine. *Canadian Journal of Forest Research*, 35(11), 2734–2742.
- Ne'eman, G., Lahav, H. & Izhaki, I. (1992). Spatial pattern of seedlings one year after fire in a Mediterranean pine forest. *Oecologia*, 91(3), 365–370.
- Ne'eman, G., Meir, I., & Ne'eman, R. (1993). The effect of ash on the germination and early growth of shoots and roots of *Pinus*, *Cistus* and annuals. *Seed Science and Technology*, 21(2), 339–349.
- Ots, K., Tilk, M., & Aguraijuja, K. (2017). The effect of oil shale ash and mixtures of wood ash and oil shale ash on the above- and belowground biomass formation of Silver birch and Scots pine seedlings on a cutaway peatland. *Ecological Engineering*, 108, 296–306.
- Ozolinčius, R., Varnagirytė-Kabašinskienė, I., Stakėnas, V., & Mikšys, V. (2007). Short term effects of compensatory wood ash fertilization on soil, ground vegetation and tree foliage in Scots pine stands. *Baltic Forestry*, 13(2), 158–168.

- Parn, H., Mandre, M., Ots, K., Klõšeiko, J., Lukjanova, A., & Kuznetsova, T. (2010). Use of biofuel ashes in forestry. *Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused*, 52, 40–50.
- Pitman, R. M. (2006). Wood ash use in forestry –a review of the environmental impacts. *Forestry*, 79, 563–588.
- Reyes, O. & Casal, M. (1998). Germination of *Pinus pinaster*, *P. radiata* and *Eucalyptus globulus* in relation to the amount of ash produced in forest fires. *Annals of Forest Science*, 55(7), 837–845.
- Reyes, O. & Casal, M. (2006). Seed germination of *Quercus robur*, *Q. pyrenaica* and *Q. ilex* and the effects of smoke, heat, ash and charcoal. *Annals of Forest Science*, 63(2), 205–212.
- Reyes, O., Kaal, J., Arán, D., Gago, R., Bernal, J., García-Duro, J. & Basanta, M. (2015). The effects of ash and black carbon (biochar) on germination of different tree species. *Fire Ecology*, 11(1), 119-133.
- Ritchie, G. A. (1984). Assessing seedling quality. In M. L. Duryea & T. D. Landis (Eds.), *Forest Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings* (pp. 243–259). The Hague/Boston/Lancaster: Martinus Nijhoff / Dr W. Junk Publishers for Forest Research Laboratory, Oregon State University.
- Şimşek Erşahin, Y., & Kavdır, Y. (2015). Alternatif bitki besin elementi kaynakları ve toprak düzenleyiciler. In S. Erşahin, T. Öztaş, A. Namlı, & G. Karahan (Eds.), *Toprak Amenajmanı*. Gazi Kitabevi, ss. 449-506, Ankara.
- Terasmaa, T., & Sepp, R. (1994). Liming with powdered oil-shale ash in a heavily damaged forest ecosystem. 1. The effect on forest soils in a pine stand. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Ecology*, 4(3), 101–108.
- Terasmaa, T., & Pikk, J. (1995). Liming with powdered oil-shale ash in a heavily damaged forest ecosystems. 2. The effect on forest condition in a pine stand. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Ecology*, 5(3-4), 77–84.
- Thomas, P.A., & Wein, R. W. (1990). Jack pine establishment on ash from wood and organic soil. *Canadian Journal of Forest Research*, 20(12),1926–1932.

- Thompson, B. E. (1985). Seedling morphological evaluation—What you can tell by looking. In M. L. Duryea (Ed.), *Proceedings of workshop on evaluating seedling quality: Principles, procedures, and predictive abilities of major tests* (pp. 59–71). Corvallis, OR: Oregon State University, Forest Research Laboratory.
- Turna, I., & Bilgili, E. (2006). Effect of Heat on Seed Germination of *Pinus sylvestris* and *Pinus nigra* ssp. *pallasiana*. *International Journal of Wildland Fire*, 15, 283–286.
- Vaatainen, K., Sirparanta, E., Raisanen, M., & Tahvanainen, T. (2011). The costs and profitability of using granulated wood ash as a forest fertilizer in drained peatland forests. *Biomass and Bioenergy*, 35(8), 3335–3341.
- Vance, E. D. (1996). Land application of wood-fired and combination boiler ashes: An overview. *Journal of Environmental Quality*, 25(5), 937–944.
- Yahyaoglu, Z., & Ölmez, Z. (2003). *Tohum Teknolojisi ve Fidanlık Tekniği Ders Notu* (Yayın No. 2), Kafkas Üniversitesi Artvin Orman Fakültesi.

BÖLÜM 8

***Daphne* L. TAKSONUNUN ÜRETİM YÖNTEMLERİ VE *Daphne pontica* L. TÜRÜNÜN ÇELİKLE ÜRETİM SÜREÇLERİ**

Prof. Dr. Ömer Lütfü ÇORBACI¹
Peyzaj Yüksek Mimarı Feyzanur SOYYİĞİT²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17737503>

¹Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Rize, Türkiye
omerlutfu.corbaci@erdogan.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-8763-3163

²Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Rize, Türkiye.
feyzanur_soyyigit21@erdogan.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-5616-3381

1. GİRİŞ

İnsanoğlu, varoluşundan bu yana birçok temel ihtiyacını karşılamak amacıyla bitkilerden çeşitli şekillerde faydalanmıştır. Bitkiler, tarih öncesi çağlardan günümüze kadar beslenmeden sağlığa, barınmadan giyime kadar pek çok temel ihtiyacın karşılanmasında önemli bir kaynak olmuştur (Nohutçu vd. 2019; Varlı vd. 2020). İlk çağlardan kalma arkeolojik bulgulara göre, insanların besin elde etmek ve sağlık sorunlarını gidermek amacıyla öncelikle bitkilerden yararlandığı gözlemlenmiştir (Kendir ve Güvenç 2010). Eski çağlardan itibaren hastalıkların giderilmesinde bitkilerin çeşitli kısımlarından faydalandığı; şifa bulmak amacıyla kullanılan tıbbi bitkiler üzerine yazılan ilk eserlere ise Çin, Hindistan, Mısır, Yunan ve Roma uygarlıklarına ait kaynaklarda rastlanmaktadır (Çorbacı ve Ekren 2021). Pek çok hastalığın önlenmesi, tedavisi ve genel sağlığın korunması amacıyla tıbbi ve aromatik bitkilerden yararlanılmaktadır. Geleneksel ve modern tıpta ilaç olarak kullanılan tıbbi ve aromatik bitkiler aynı zamanda gıda, boya, kozmetik ve parfüm gibi çeşitli endüstriyel alanlarda da önemli kullanım potansiyeline sahiptir (Göktaş ve Gıdık 2019).

Ilıman kuşak içerisinde yer alan Türkiye, bulunduğu coğrafi konumu ile Avrupa-Sibirya, İran-Turan ve Akdeniz fitocoğrafik bölgelerinin kesişim noktasında yer alması sebebiyle zengin bir biyoçeşitliliğe sahiptir (Avcı, 2005; Erat ve Balık 2022). Son yıllarda yapılan çalışmalarda Türkiye’de yaklaşık 12.000 bitki taksonu olduğu tespit edilmiş olup bu sayının Avrupa kıtasının tümünde yayılış gösteren bitki çeşitliliğine yakın olduğu vurgulanmaktadır (Adıgüzel ve Solmaz 2023). Türkiye florasının üçte birini tıbbi ve aromatik bitkiler oluşturmaktadır. Bu veriler, Türkiye’nin tıbbi ve aromatik bitki çeşitliliği açısından önde gelen ülkeler arasında yer aldığını göstermektedir. Dünya tıbbi ve aromatik bitki ticaretinde Fransa, ABD, Almanya, İngiltere, Çin, Meksika, İspanya, Brezilya, Hindistan ve Vietnam öncü ülkeler arasında yer alırken; Türkiye, bu alandaki zengin bitki çeşitliliğine rağmen ilk 20 ülke arasında yer almamaktadır (Temel vd. 2018).

Türkiye’de tıbbi ve aromatik bitkilerin en yoğun şekilde yetiştirildiği bölgeler Ege, Marmara, Akdeniz, Doğu Karadeniz ve Güneydoğu Anadolu’dur. Bu bölgelerde yayılış gösteren, tıbbi ve aromatik bitki çeşitliliği açısından dikkat çeken cinslerden biri de *Daphne* L. cinsidir. Thymelaeaceae (Sıyrıcıkgiller) familyasının üyesi olan *Daphne* L. cinsi 95 türden oluşan, Asya,

Avrupa ve Kuzey Afrika bölgelerinde doğal yayılış gösteren, yaprak dökken veya herdem yeşil çalılardan oluşmaktadır (Noshad vd. 2009). Türkiye’de *Daphne* L. cinsine ait sekiz takson (*Daphne mezereum* L., *Daphne pontica* L., *Daphne glomerata* Lam., *Daphne sericea* Vahl, *Daphne oleoides* Schreb. subsp. *oleoides*, *Daphne oleoides* Schreb. subsp. *kurdica*, *Daphne gnidioides* Jaub. & Spach ve *Daphne mucronata* Royle) tespit edilmiştir. *Daphne* L. taksonları, pek çok farmakolojik ve biyolojik etkiye sahip olmaları nedeniyle eski çağlardan beri halk arasında çeşitli hastalıkların tedavisinde kullanılmış; ayrıca sahip oldukları morfolojik özellikler sayesinde süs bitkisi olarak da değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada, Türkiye’de tıbbi ve süs bitkisi potansiyeli yeterince değerlendirilememiş olan doğal *Daphne* L. taksonlarına ilişkin bilgiler sunulmuş ve üretim yöntemlerinin ortaya konması amaçlanmıştır. Karadeniz, Ege, Akdeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde yayılış gösteren bu taksonların sistematikteki yeri, bitkisel özellikleri ve yetiştiricilik potansiyelleri ele alınmış; ayrıca bu taksonların önemi vurgulanarak üretimlerinin artırılmasına yönelik önerilerde bulunulmuştur. Ayrıca Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü bünyesinde yapılan “*Daphne pontica* L. ve *Daphne odora* Thunb. “Aureomarginata” Taksonlarının Çelikle Üretimi ve Peyzajda Kullanım Olanakları” adlı tez çalışması içerisindeki *Daphne pontica* L. türünün çelikle üretim süreçleri hakkında bilgiler verilmiştir.

2. TÜRKİYE’DE DOĞAL YAYILIŞ GÖSTEREN *DAPHNE* L. TAKSONLARI

2.1. *Daphne glomerata* Lam. (Yabani Defne-Dağsırımbağı-Ezentere)

Thymelaeaceae familyasının üyesi olan *D. glomerata* Lam. Dünyada Kafkasya bölgelerinde, Türkiye’de ise Trabzon, Gümüşhane, Bayburt, Artvin ve Erzurum illerinin (A7, A8 karelerinde) yüksek kesimlerinde doğal yayılış göstermektedir (Davis 1982). *Vaccinium myrtillus* L. türü ile birlikte alpin ve alpin altı çayırıklarda, çam ormanlarının kenarlarında, 1400-2500 m yükseltiler arasında yetişir (Url-1 2024; Akkemik 2018). Halk arasında, yabani defne, dağsırımbağı, ezentere olarak adlandırılan (Asan ve Yaşarken 2017; Sefalı, 2023), mayıs-temmuz ayları arasında çiçeklenen, yaprak dökmeyen, çok yıllık çalı formu bir bitkidir (Tabidze vd. 2014; Akkemik 2018). 40-50 cm boy

ve çapa ulaşabilen, bodur çalı; yapraklar sürgün uçlarında, hemen hemen sapsız, derimsi, ters mızrak, elips veya ters oval şeklinde, 1,5-3 cm uzunluğunda, 0,7-1,1 cm genişliğinde küt veya sivri uçlu, tüysüz; çiçekler hemen hemen sapsız, üst yaprakların koltuğunda 2-15'li demetler halinde pembe veya sarımsı renkli ve hoş kokulu; meyve yumurta şeklinde, kırmızı renkli olup taksonun tüm kısımları zehirlidir (Mchedlidze vd. 2019; Busmann vd. 2020).

2.2. *Daphne gnidioides* Jaub. & Spach. (Yabani Defne-Sıyrıcık)

Thymelaeaceae familyasının üyesi olan *D. gnidioides* Jaub. & Spach. türü Dünyada Doğu Ege Adaları, Yunanistan ve İtalya'da, Türkiye'de ise Anadolu'nun Antalya, Burdur, Denizli, İzmir, Kahramanmaraş ve Muğla (B1, C2, C3, C4, C5, C6 karelerinde) illerinin deniz seviyesinden 1150 m'ye kadar dikey yayılışa sahiptir (Davis 1982; Akkemik 2018). Halk arasında sıyrıcık olarak adlandırılan (Güner vd. 2012), Mayıs-ağustos aylarında çiçeklenen, yaprak dökmeyen, çok yıllık çalı formunda bir bitkidir (Tongur vd. 2018). 0,5-2 m boya ulaşabilen, çalı; yapraklar derimsi, hemen hemen sapsız, dar eliptik veya ters mızrak şeklinde ve tüysüz; çiçekler kümeler halinde 3-12'li, boru şeklinde, kirlimsi-sarı renkli; meyve yumurtamsı, 5-7 mm ve portakal kırmızısı renkte olup taksonun tüm kısımları zehirlidir (Uzunoğlu ve Mavi 2024).

2.3. *Daphne mezereum* L. (Yabani Defne-Mezeryon-Kirkat)

Thymelaeaceae familyasının üyesi olan *D. mezereum* L. Dünyada Avrupa, Kafkasya, Kuzey İran, Rusya ve Sibiry'a Türkiye'de ise Artvin, Erzurum, Giresun, Gümüşhane, Rize, Trabzon (A7, A8 karelerinde) illerinin dağlık yamaçlarda, meşe-çam ormanları altında, 1600-2130 m yükseltilerde yetişmektedir (Url-1 2024). Halk arasında yabani defne ve mezeryon olarak adlandırılan, mart-haziran aylarında çiçeklenen, yaprak dökken, çalı formu bitkidir (Nowakowska ve Pacholczak 2020). 1-1,5 m boyolanabilen, dik çalı; yapraklar ters mızrak biçiminde, 30-90 x 9-20 mm boyutlarında, küt veya geniş sivri uçlu ve tüysüz; çiçekler yaprakların koltuğunda 3-6'lı şekilde pembe-mor renkli ve hoş kokulu; meyve hemen hemen küresimsi ve olgunlaştığında kırmızı renkli olup taksonun tüm kısımları zehirlidir (Zobel ve Brown 1989; Chwil 2014). *D. mezereum* L. yapraklanmadan önce çiçeklenmektedir. Bu özelliği onu diğer *Daphne* L. taksonlarından ayıran en önemli morfolojik özelliklerden biridir.

2.4. *Daphne mucronata* Royle (Yabani Defne-İğircik-Tevri)

Thymelaeaceae familyasının üyesi olan *D. mucronata* Royle Dünyada Irak, Afganistan, Batı Himalayalar ve Arabistan'da Türkiye'de ise Hakkâri, Bitlis, Van (B9, C9, C10 karelerinde) illerinin kayalık yamaçları, kireçtaşı ve kurak açık alanların 1100-2280 m yükseltilerinde dikey yayılış göstermektedir (Akkemik 2018; Url-1 2024). Halk arasında İğircik ve Tevri olarak adlandırılan, haziran-eylül aylarında çiçeklenen, yaprak dökmeyen, çalı formu bitkidir (Murad vd. 2011; Güner vd. 2012). 0,5-3 m boylanabilen, dik çalı; yapraklar tüysüz hemen hemen sapsız, dar elips şeklinde, tepe kısımları daralmış ve dikensidir; dallar kırmızımsı kahverengi, yapraklı kısımlar çıplak; çiçekler hoş kokulu, salkım halinde 8-14 adet, çiçek sapı 5 mm, çiçekler beyaz sarımsı renkte; meyve 7-9 mm, portakal kırmızımsı renkte olup yaprak kısımları zehirlidir (Afzal vd. 2009; Murad vd. 2011).

2.5. *Daphne oleoides* Schreber (Yabani Defne-Gövçek)

Thymelaeaceae familyasının üyesi olan *D. oleoides* Schreber dünyada Güney Avrupa, Kuzey Afrika ve Asya bölgelerinde Türkiye'de ise İç Anadolu, kıyı ardı bölgeler ve Doğu Anadolu Bölgesinde (A2, A3, A4, A6, A7, B1, B2, B3, B5, B6, B7, C2, C3, C4, C5, C6 karelerinde) 760-3200 m yükseltilerinde dikey yayılış göstermektedir (Akkemik 2018; Url-1 2024). Halk arasında Gövçek olarak adlandırılan, mayıs-ağustos aylarında çiçeklenen, yaprak dökmeyen, çalı formu bitkidir (Davis 1982). 15-60 cm boylanabilen, çok dallı bir çalı; genç sürgünler kırmızımsı-kahverengi, kısa ve tüylü, yaşlı dallar odunsu ve tüysüz; yapraklar donuk mavi-yeşil renkli, derimsi ve hemen hemen sapsız, eliptik ve mızraksı şekilde; çiçekler sapsız, hoş kokulu, uçlarda 3-6 küme halinde, beyaz ve krem-sarı renkte; meyve yumurta biçiminde, 4-6 mm, portakal kırmızısı renkte olup tüm kısımları zehirlidir (Feliner 1996; Ullah vd. 1999; Riaz ve Malik 2001). Bu tür dış görünüş (habit), tüylenme, yaprak ve çiçek boyutları bakımından oldukça değişken bir türdür. Çiçek örtüsü loplarının şekline ve boyutlarına göre iki alt türe ayrılır (Kit Tan 1982):

2.5.1. *Daphne oleoides* Schreber subsp. *oleoides*: Kireçtaşı

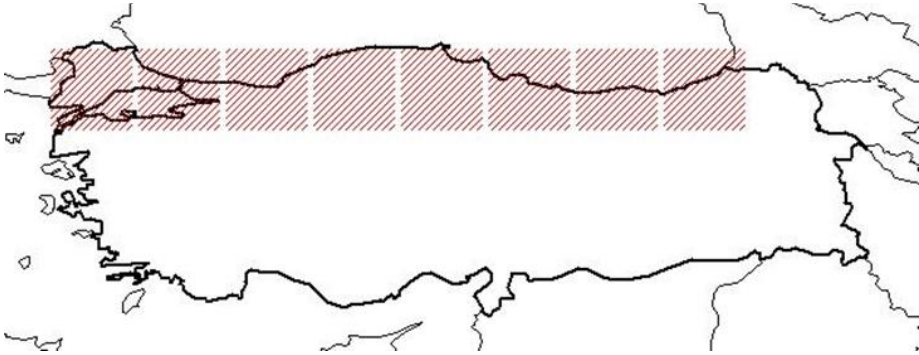
bayırlar, yamaç eteklerinde biriken taş toprak yığınları, bodur meşelikler, karaçam ormanları, *Astragalus-Acantholimon* stepleri, yol kenarlarında yetişir. Dikey yayılışı 1050-3200 m arasındadır. Çiçeklenme mayıs-ağustos arası dönemde gerçekleşir. İç Anadolu ve Kıyı Ardı bölgelerde doğal olarak bulunur.

2.5.2. *Daphne oleoides* Schreber subsp. *kurdica* (Bornm.)

B.Peterson: Volkanik kayalar, kireçtaşı çatlakları, yüksek bölge meraları ve yol kenarlarında yetişir. Dikey yayılışı 760-3000 m arasındadır. Çiçeklenme Mayıs-Eylül ayları arasında görülür. Türkiye'deki yayılış alanları Doğu Anadolu Bölgesindedir.

2.6. *Daphne pontica* L. (Yabani Defne-Sırımbağı-Kurtbağı)

Thymelaeaceae familyasının üyesi olan *D. pontica* L. Dünyada Bulgaristan, Kafkasya, Kuzey İran bölgelerinde Türkiye'de ise Kırklareli, İstanbul, Bursa, Balıkesir, Sakarya, Bolu, Zonguldak, Kastamonu, Ankara-Kızılcahamam, Çankırı, Sinop, Samsun, Amasya, Tokat, Ordu, Trabzon, Gümüşhane, Rize (A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8 karelerinde) volkanik ve kireç taşı yamaçlar üzerinde, Göknar-Kayın karışık ormanlarında ve 1-2200 m yükseltiler arasında yayılış göstermektedir (El Zein ve Dagher-Kharrat 2021; Url-1 2024). Halk arasında Sırımbağı ve Kurtbağı olarak adlandırılan, Mart-Ağustos ayları arasında çiçeklenen, yaprak dökmeyen, seyrek dallı dik çalıdır (Apak 1986).



Şekil 1. *Daphne pontica* L. türünün Türkiye'deki yayılışı (Url-1 2024)

D. pontica türü 1 m boyolanabilen, dik çalı; genç sürgünler yapraksız ve tüysüz, yaşlı dallar çıplak; yapraklar hemen hemen sapsız, derimsi oval şekilli, sivri uçlu ve çıplak; çiçekler yaprak koltuğunda genellikle ikili, yeşilimsi-sarı renkli ve tüysüz; meyve yumurtamsı veya küremsi ve siyah renkli olup tüm kısımları zehirlidir (Tosun ve Özkal 2002; Bussmann vd. 2020).



Şekil 2. *D. pontica* L. bitkisi (A: yaprak yapısı, B: çiçek yapısı, C: habitus)

2.7. *Daphne sericea* Vahl. (Develik-Gökçe-Tavuk Çiçeği-İpeksi Defne)

Thymelaeaceae familyasının üyesi olan *D. sericea* Vahl. Dünyada İtalya, Sicilya, Girit ve Kafkasya bölgelerinde Türkiye’de ise Adana, Antalya, Bilecik, Bursa, Denizli, Hatay, Isparta, Kocaeli, Muğla, Samsun (A2, A3, A5, C2, C3, C4, C5, C6 karelerinde) illerinin kireç taşı, serpantin ve tabakalı kayalar üzerinde, kapalılığı düşük kızılçam ormanları, *Quercus coccifera*-*Arbutus* makiliklerinde deniz seviyesinden 1500 m yükseltiler arasında yayılış göstermektedir (Biondi vd. 2014; Tongur 2014). Halk arasında Develik, Gökçe, Tavuk Çiçeği, İpeksi Defne olarak adlandırılan, şubat-mayıs ayları arasında çiçeklenen, yaprak dökmeyen çalıdır. 1-1,5 m boylanabilen, dik çalıdır. Sürgün ve dallar; kırmızı-kahverengi, tüylü, kabuk rengi gridir. Yaprak; hemen sapsız veya çok kısa saplı, küt ve genişçe sivri uçlu, derimsi elips, üst yüzeyi mat mavi-yeşil ve tüysüz, alt yüzeyi yatık tüylü, kenarı alt tarafa doğru az çok kıvrıktır. Çiçekler; sapsız, sürgün uçlarına doğru ve yaprak koltuklarında 5-10 adedi bir arada bulunur, pembe renkli ve hoş kokuludur. Meyve; 5-6 mm, yumurta şeklinde, portakal kırmızısı renginde olup tüm kısımları zehirlidir (Frezza vd. 2021).

3. BİTKİSEL ÖZELLİKLERİ

3.1. Önemi ve Kimyasal Bileşimi

Daphne L. cinsi antioksidan, anti-enflamatuvar, antimikrobiyal, analjezik, antiülserojenik, sitotoksik, abortif, hemostatik ve hipokolesterolemik etkiler gibi geniş bir biyolojik etkiye sahiptir (Sovrlı ve Manojlović 2017). *Daphne* taksonlarıyla ilgili yapılan pek çok çalışmada, türlerin antimikrobiyal, antiparaziter, antioksidan, immüностimülan, hemostatik ve hipotansif özellikler gösterdiği ortaya koyulmuştur (Yeşilada vd. 1997; Yeşilada vd. 2001; Tosun

2006; Küpeli vd. 2007). Frezza vd. (2021) *D. sericea* türünün biyolojik etkilerini inceledikleri çalışmada, taksonun iki farklı insan kanser hücre hattına karşı önemli anti-proliferatif aktiviteler gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Taksonda tanımlanan bileşiklerin çoğu çeşitli hücre hatlarına karşı ilgili antitümör özellikler göstermiştir. *Daphne* taksonları; kumarinler, flavonoidler, lignanlar, steroidler, diterpenoidler ve çeşitli terpen sınıfları gibi biyoaktif fitokimyasallar açısından zengin bir kaynaktır (Yi vd. 2021). *Daphne* taksonlarının çoğu biyoaktiftir ve bu nedenle eski çağlardan beri çeşitli hastalıkların tedavisinde kullanıldığı bilinmektedir (Kupchan ve Baxter 1975). Kanser, iltihaplı rahatsızlıklar, romatizma ağrıları, bel ağrısı, ateş düşürme tedavisi, ödem gidermek, müshil ve düşük yapıcı, cilt hastalıkları, mide ağrıları ve diş ağrıları gibi çeşitli hastalıkların tedavisinde kullanılmasının yanında hayvanların bacaklarında oluşan şişliklerin azaltılmasında da kullanıldığı belirtilmektedir. (Ronlan ve Wickberg 1970; Yeşilada vd. 2001; Chen vd. 2004; Zheng vd. 2006; Küpeli vd. 2007).

3.2. Kullanılan Organları ve Kullanım Alanları

Tarihi belgelere göre, *Daphne* L. taksonlarının tıbbi amaçla kullanımı Afrodisias dönemine (MS 2. yy.) kadar uzanmaktadır (Kupchan ve Baxter 1974). Bu bağlamda, bazı türlerin antikanser özellikleri taşıdığı ve geleneksel tıpta bu amaçla kullanıldığı öne sürülmektedir. Geniş farmakolojik etki yelpazesine ve önemli klinik etkilere sahip olan *Daphne* taksonları, Çin, Kore, Vietnam, Afrika'nın tropikal kesimlerinde yaygın olarak bulunmakta ve *D. genkwa* Siebold & Zucc. türünün kurutulmuş çiçek tomurcuklarının idrar söktürücü, balgam söktürücü, öksürük giderici, parazitleri yok edici ve uyuz hastalığını iyileştirici etkiye sahip olduğu belirtilmiştir (Hu vd. 2024). *D. glomerata* türünün yaprak ve kabuk kısımlarından elde edilen ham özüt ve merhem, romatizma, nevralji ve nasır tedavisinde ağrı kesici olarak kullanılmaktadır (Tabidze vd. 2014; Bussmann vd. 2020). *D. oleoides* subsp. *oleoides* alt türü, Türk halk hekimliğinde romatizmal ağrılar, bel ağrıları ve ateş düşürme tedavisinde kullanılmıştır. Aynı zamanda Anadolu'da bitkinin taze sapları sakat hayvanların bacaklarında ki şişlikleri azaltmak için kullanılmıştır (Yeşilada vd. 2001). Geleneksel Çin tıbbında çeşitli hastalıkların tedavisinde *Daphne* taksonlarının kullanıldığı gözlemlenmiştir. Ödemi gidermek için *D. genkwa*, yara ve çürüklerin tedavi edilmesi için *D. acutiloba* Rehder, kronik

romatizma, gut ve lenf dokusu iltihapları, kanser tedavilerinde *D. mezereum* taksonları kullanılmıştır (Kupchan ve Baxter 1975; Taniguchi vd. 1998; Hu vd. 2024; Mohamed vd. 2025). Nepal’de ‘kâğıt defnesi’ olarak adlandırılan *D. bholua* Buch.-Ham. ex D. Don, çok yönlü kullanımıyla dikkat çeken bir taksondur. Geleneksel Nepal tıbbında ateş düşürücü ve solunum yolu hastalıklarının tedavisinde yaygın olarak kullanılmış, aynı zamanda kabuk liflerinden elde edilen ham madde, yüzyıllardır el yapımı lokta kağıdı üretiminde temel kaynak olarak değerlendirilmiştir (Sharma vd. 2017). *D. oleoides* türü, Pakistan’da hayvan hastalıklarının tedavisinde uygulanan etno-veteriner yöntemler kapsamında, özellikle inek ve keçilerde ishal ve dizanteri tedavisinde kullanılmıştır (Farooq vd. 2012; Khan vd. 2019). Yine *Daphne caucasia* Pall etno-veteriner yöntemler kapsamında ektoparazitlere karşı kullanılmıştır (Bussmann vd. 2020). Meyveleri öğütülerek macun haline getirilen *D. mucronata* taksonu çil ve sivilcelerin giderilmesinde kullanılmıştır (Ahmad vd. 2006). Quave ve Saitta (2016), İtalya’nın Pantelleria Adası’nda yürüttükleri etnobotanik çalışmada, *D. gnidium* L. türünün esnek kabuk kısmının soyularak küçük yaraların tedavisinde yara bandı olarak kullanıldığını ve dal kısımlarının ise köpek kulübelerine yerleştirilerek kene ve pireleri uzak tutmak amacıyla kullanıldığını belirtmişlerdir. Tablo 1’de, *Daphne* L. taksonlarının tıbbi kullanım alanlarına ilişkin özet bilgiler sunulmaktadır.

Tablo 1. Bazı *Daphne* L. türlerinin tıbbi kullanım alanlarına ilişkin bilgiler

Türün Adı	Kullanılan Organ	Kullanım Alanı	Kaynak
<i>Daphne acutiloba</i> Rehder	Kök Kabuk	Yara ve morlukların tedavisinde	Taniguchi vd. 1998
<i>Daphne genkwa</i> Siebold & Zucc.	Çiçek	İdrar ve balgam söktürücü, öksürük ve ödem giderici, parazit yok edici, uyuz hastalığı, kanser önleyici	Hu vd. 2024
<i>Daphne giraldii</i> Nitsche	Kök kabuğu	Romatizma, eklem, baş, mide, bel ağrıları, Hemoroit tedavisinde	Tang vd. 2021
<i>Daphne glomerata</i> Lam.	Yaprak Kabuk	Romatizma, nevralji, nasır	Tabidze vd. 2014 Bussmann vd. 2020

<i>Daphne gnidioides</i> Jaub. & Spach.	Yaprak Kabuk	Deri hastalıklarının tedavisinde, hayvan şişkinliklerinin giderilmesinde	Ertuğ 2002
<i>Daphne gnidium</i> L.	Kabuk Kök	Saç bakımı, diyabet, sinüzit, romatizmal hastalıklar, diş ve kas ağrısı, mide ve bağırsak enfeksiyonları, cilt kanseri tedavisinde, kene ve pire kovucu olarak	Chaabane vd. 2012 Quave ve Saitta 2016 Khouchlaa vd. 2021
<i>Daphne laureola</i> L.	Kabuk	Mikrop öldürücü, idrar ve balgam söktürücü, romatizma, cilt rahatsızlıklarında	Jarić vd. 2007 Juskovic vd. 2017
<i>Daphne mezereum</i> L.	Tohum Kabuk	Kronik romatizma, gut ve lenf dokusu iltihapları, kanseri tedavisinde	Kupchan ve Baxter 1975 Mohamed vd. 2025
<i>Daphne mucronata</i> Royle	Yaprak, Meyve	İskelet-kas ağrıları, romatizmal hastalıklar, bulaşıcı yaralar, jinekolojik sorunlar, kabızlık, çil ve sivilce tedavilerinde	Ahmad vd. 2006 Zaidi vd. 2015 Khan vd. 2015
<i>Daohne odora</i> Thunb.	Kök Yaprak	Mide ağrısı, morluklar ve zehirli yılan ısırıklarında, apse ve nevrojji tedavisinde	Toniguchi vd. 1997
<i>Daphne oleoides</i> Schreber	Kök Kabuk Yaprak	Müşil, cilt hasarları ve ülser tedavisinde, romatizmal ağrı, baş ağrısı, ateş tedavisinde	Ullah vd. 1999 Yeşilada vd. 2001 İrfan vd. 2018
<i>Daphne pontica</i> L.	Toprak üstü kısmı ve kökleri	Romatizmal ağrı, iltihaplı hastalıklar, bel ve karın ağrısı, mide ekşimesi, böbrek enfeksiyonları	Eskandari vd. 2019
<i>Daphne sericea</i> Vahl.	Çiçek Yaprak	Hemoroit tedavisinde	Güzel vd. 2015

4. YETİŞTİRİCİLİĞİ

4.1. İklim ve Toprak İstekleri

Daphne taksonları, Türkiye’de Akdeniz, Ege, Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde yayılış göstermektedir. Yayılış alanları incelendiğinde, deniz etkisinin hissedildiği kıyı kesimleri ile deniz etkisinden uzak yüksek rakımlı bölgeler olmak üzere farklı iklim yapılarında yer aldıkları görülmektedir.

Daphne taksonları, nemli, serin ve organik madde bakımından zengin, özellikle iyi drene edilmiş toprakları tercih ederler. Toprak pH değeri bakımından 6.0-7.0 aralığında, hafif asidik-nötr topraklarda iyi gelişim gösterirler (Url-2 2024). Doğrudan güneş ışığını tercih etmeyen *Daphne* taksonları yarı gölge alanlarda daha iyi gelişim gösterirler. Türler arasında ışık toleransı farklılık gösterebilmektedir. Genel olarak büyük yapraklı türler yarı gölgeyi alanları tercih ederken, küçük yapraklı türler ise güneşli alanlara daha yüksek tolerans gösterebilmektedir (Condon 2007).

4.2. Sulama

Güçlü ve derinlemesine bir kök sistemine sahip *Daphne* taksonları, nemli ve iyi drene edilmiş toprakları tercih ederler. Aşırı kuraklığa olduğu kadar fazla nemli topraklara da tolerans gösteremezler. Özellikle aşırı sulama, kök çürümesine neden olabileceğinden, bu durumun önlenmesi için drenajı iyi sağlanmış topraklar tercih edilmelidir (Garibaldi vd. 2009).

5. *DAPHNE* L. TAKSONLARININ ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Daphne taksonlarının üretimi hem generatif hem de vejetatif yöntemlerle gerçekleştirilebilir. Arılar, böcekler ve kelebekler tarafından tozlaştırma sağlanırken, tohumlar kuşlar tarafından taşınabilir (Alonso ve Herrera 2001; Hanus-Fajerska vd. 2012). Ancak taksonların çoğunda çimlenme engeli, yavaş köklenme ve düşük çelik başarısı gibi nedenlerle üretim zorlukları bulunmaktadır. Marks (1997), genel olarak çoğu taksonun yeterince değerlendirilmediğini belirtmiştir. Fidanlıklarda yapılan üretimlerde verimli çoğaltma zor olsa da, vejetatif üretim tercih edilmektedir. Çeliklerin köklenmesinde ışık, nem, sıcaklık ve toprak yapısı gibi ekolojik etmenler önem arz etmektedir. Düşük çelik başarısı ve yavaş köklenme sebebiyle mikro

çoğaltma teknikleri önem arz etmiştir (Mala ve Bylinsky 2004; Noshad vd. 2009; Hanus-Fajerska vd. 2012).

Daphne taksonlarının üretim yöntemlerine dair literatürde yer alan çalışmalar, başlıklar halinde derlenmiştir.

5.1. *Daphne* L. Taksonlarının Çelikle Üretimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Daphne L. taksonlarının vejetatif çoğaltımında en sık başvuru alan yöntemlerden biri çelikle üretimdir. Bu yöntem üzerine yapılan çalışmalar, farklı tür ve çeşitlerde köklenme başarısını artırmaya yönelik çeşitli uygulamaları kapsamaktadır.

Lamb ve Nutty (1986), 1970-1984 yılları arasında *Daphne* L. taksonları üzerinde yürüttükleri çalışmada, haziran, temmuz ve ağustos aylarında aldıkları çelikleri %66 yosun turbası ve %33 kireçsiz kum (2:1) karışımına dikmişlerdir. Çalışmada köklenme başarı oranları sırasıyla; *Daphne cneorum* ‘Eximea’ (%28–%75), *D. blagayana* (%37–%60), *D. retusa* (%52–%60), *D. collina* (%65–%89), *D. arbuscula* (%65–%96) ve *D. aurantiaca* (%61) olarak bildirilmiştir. Ayrıca, bazı *Daphne* taksonlarının meyve vermediği, buna karşılık *D. retusa*, *D. tangutica*, *D. laureola*, *D. pontica* ve *D. mezereum* taksonlarının kolaylıkla meyve verdikleri belirtilmiştir.

Ticknor (1989), *Daphne × burkwoodii* ‘Corel Mackie’ kültivarında farklı köklendirme ortamları ve farklı aylarda alınan çeliklerin köklenme üzerine etkilerini incelemiştir. Haziran ve ekim aylarında alınan çelikler; %100 perlit, %80 perlit + %20 torf, %80 perlit + %20 kompost, %100 pomza, %80 pomza + %20 torf ve %80 pomza + %20 kompost olmak üzere altı farklı köklendirme ortamına dikilmiştir. Ekim ayında alınan çeliklerde en yüksek köklenme, %80 perlit + %20 kompost ortamında %100 oranında gerçekleşirken, haziran ayında bu oran %93,8 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, *Daphne* L. taksonlarında haziran–ağustos ayları arasında alınan kısa ve yumuşak çeliklerin köklenme başarısının daha yüksek olduğu vurgulanmıştır.

Berner vd. (2009), köklenmesi güç olan yaprak dökmeyen bitkilerin yarı odunsu ve odunsu çeliklerinin farklı köklendirme ortamlarındaki başarısını araştırmıştır. Çalışmada %40 perlit + %30 ağaç kabuğu + %30 turba yosunu karışımı ile %100 kaya yünü olmak üzere iki farklı ortam kullanılmıştır. Nisan ayında *Daphne tangutica* Maxim. türünden alınan yarı odunsu çelikler bu

ortamlara dikilmiş ve en yüksek köklenme oranı %81 ile %100 kaya yünü ortamında elde edilmiştir. Araştırmacılar, köklenmesi zor taksonlar da yarı odunsu ve odunsu çeliklerin farklı ortamlarda denenmesinin, köklenme kapasitesini artırmada etkili bir yöntem olduğunu vurgulamışlardır.

Ro vd. (2010), *Daphne kiusiana* Miq. Bitki türünden alınan yumuşak çeliklerin farklı köklendirme ortamlarındaki köklenme başarısını incelemiştir. Çalışmada, 2007 yılı temmuz ayında alınan yumuşak çelikler %100 perlit, %100 vermikülit, %100 kum ve %50 perlit + %50 vermikülit ortamlarına daldırılmıştır. On iki haftalık köklendirme süresinin sonunda en yüksek köklenme oranı %95 ile %100 perlit ve %100 kum ortamlarında elde edilmiştir. En uzun kök uzunluğu ise 14,4 cm ile %100 vermikülit ortamında tespit edilmiştir. Araştırmacılar, *D. kiusiana* taksonunun köklenmesinde sıcaklık faktörünün önemli bir rol oynadığını vurgulamışlardır.

Ro vd. (2011), haziran, temmuz ve ağustos aylarında *Daphne odora* Thunb. türünden alınan yumuşak çeliklerin köklenme başarısını araştırmıştır. Çelikler, farklı köklendirme ortamlarında (%100 perlit, %100 vermikülit, %50 perlit + %50 vermikülit ve %100 bahçe toprağı) ve farklı dozlarda (0, 100 ppm, 500 ppm, 1000 ppm) köklendirme hormonu IBA (Indole-3-butyric acid) uygulanarak köklendirilmiştir. Üç aylık köklendirme süresi sonunda, en yüksek köklenme oranı %100 ile %50 perlit + %50 vermikülit ortamında elde edilirken, en uzun kök uzunluğu 15,7 cm ile %100 vermikülit ortamında belirlenmiştir. Haziran ayında alınan çeliklerde ise %96,7 ile en yüksek köklenme oranı ve 9,2 cm ile en yüksek kök uzunluğu tespit edilmiştir.

Uzunoğlu (2021), Doğu Akdeniz Bölgesi'nde yer alan dört *Daphne* L. taksonunun (*Daphne sericea*, *D. oleoides* subsp. *oleoides*, *D. oleoides* subsp. *kurdica*, *D. gnoides*) farklı köklendirme ortamlarında ve farklı aylarda alınan çeliklerinin köklenme durumunu incelemiştir. Çelikler, taksonlara göre değişen zamanlarda; *D. sericea*'da mart, nisan, mayıs, haziran ve temmuz aylarında; *D. oleoides*'te nisan, ağustos ve ekim aylarında; *D. gnoides*'te ise mart, haziran, ekim ve aralık aylarında alınmıştır. Alınan çeliklerin tepe yaprakları korunmuş ve köklenmeyi teşvik amacıyla 0, 2000 ppm ve 4000 ppm IBA (Indole-3-butyric acid) dozları uygulanmıştır. Köklendirme ortamı olarak torf, perlit-torf ve perlit-kaya yünü karışımları kullanılmıştır. Deneme sonuçlarında, hiçbir ortam ve uygulamada köklenme gerçekleşmemiş, ancak çeliklerin toprak üstü aksamalarında sürgün gelişiminin devam ettiği bildirilmiştir.

5.2. *Daphne* L. Taksonlarında Tohumla Üretim Üzerine Yapılan Çalışmalar

Carter (1979), *D. mezereum* tohumlarında çimlenmeyi etkileyen başlıca faktörlerin meyve olgunluğu, mekanik uygulamalar ve tohumların suda veya GA₃ çözeltisinde bekletilmesi olduğunu belirtmiştir. Çalışmada, yeşil (olgunlaşmamış) meyvelerin kırmızı (olgun) meyvelere göre daha yüksek çimlenme oranına sahip olduğu, olgun tohumlarda ise aşındırma yönteminin kontrol tohumlarına kıyasla çimlenme oranını %17'den %79'a yükselttiği saptanmıştır.

Arı vd. (2014), *D. gnidioides*, *D. oleoides* ve *D. sericea* taksonlarının tohumlarını 6 saat suda beklettikten sonra torf ve torf + perlit ortamlarına ekmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, yalnızca *D. gnidioides* tohumlarında %33 çimlenme sağlanmış, diğer iki türde ise çimlenme gerçekleşmemiştir.

Fang vd. (2016), tarafından yapılan çalışmada, *Daphne giraldii* Nitsche tohumlarının çimlenme oranını artırmak için kimyasal, soğuk katlama ve toprak gömme gibi farklı dormansiye kırma yöntemlerinin etkinliği incelenmiştir. Kimyasal ön işlemler (GA₃, 6-BA) ve soğuk katlama (5 °C'de 70 gün) uygulamaları, tohum çimlenme oranını %52.33'e kadar artırmış, ancak çimlenme oranı (germination rate, G_R) yalnızca 1,19 olarak düşük kalmıştır. Bu durum, soğuk katlamanın çimlenme üzerinde sınırlı bir etkisi olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, toprak gömme yöntemi (tohumların 100 cm derinliğe gömülmesi) en yüksek çimlenme yüzdesi (%86,5) ve çimlenme oranı (G_R=10,11) sağlamıştır.

Di Sacco vd. (2021), haziran-temmuz 2018'de *D. arbuscula* ve *D. cneorum* taksonlarından toplanan olgun tohumları incelemiş; tohum canlılığı ve çimlenme yeteneği, meyve morfoloji farklılıkları ile soğuk katlamanın tohum dormansisini kırma üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. *D. arbuscula* tohumları, *D. cneorum*'a kıyasla belirgin şekilde daha düşük canlılık göstermiştir; bu fark özellikle küçük meyve morfoloji ile ilişkilendirilmiştir. Büyük meyve morfoloji, her iki türde de daha yüksek tohum kalitesi ve canlılık sergilerken, küçük meyve morfoloji de çimlenme potansiyeline sahiptir. *D. arbuscula*'da, 15 °C'de 13 hafta sıcak katlama uygulanmasının ardından 0 veya 5 °C'de 28 hafta soğuk katlama ve son olarak 15 °C'de 4 hafta süren uygulama, fizyolojik dormansiye kırarak tohumların %63'ünün çimlenmesini sağlamıştır. Çalışma, *D. arbuscula*'nın genetik çeşitliliğini korumak amacıyla, her iki

meyve morfortipinin de tohumlarının toplanmasını ve korunmasını önermektedir.

Uzunoglu ve Mavi (2024), *D. sericea*, *D. oleoides* ve *D. gnidioides* taksonlarından toplanan olgun meyvelerin çimlenmesini incelemiştir. Tohumlar, kontrol, 250 ppm GA₃ (24 saat), 500 ppm GA₃ (24 saat) ve 5 °C’de 45, 90 ve 120 gün soğuk katlamaya tabi tutulmuştur. Çalışma sonucunda, *D. sericea* türünde en yüksek çimlenme oranı %23,5 ile 90 gün katlamaya alınan tohumlarda yaklaşık 13 günde gerçekleşmiştir. *D. oleoides* türünde en iyi sonuç %17 ile yine 90 gün katlama ve 13 günlük çimlenme süresiyle elde edilirken, *D. gnidioides* türünde en yüksek çimlenme %64 oranında ve yaklaşık 14 günde kaydedilmiştir. Çıkış denemelerinde ise, *D. sericea* türünde 90 gün katlama ile tohumların %50’si 17,75 günde, *D. oleoides* türünde 120 gün katlama ile %75’i 25 günde, *D. gnidioides* türünde 90 gün katlama ile %50’si 27,5 günde çıkış göstermiştir. Kontrol, 250 ppm ve 500 ppm GA₃ uygulamalarında *D. sericea* ve *D. oleoides* türlerinde çıkış gözlenmemiştir.

6. *DAPHNE PONTICA* L. TÜRÜNÜN ÜRETİM SÜREÇLERİ

Bu bölümde, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü bünyesinde yapılan “*Daphne pontica* L. ve *Daphne odora* Thunb. “Aureomarginata” Taksonlarının Çelikle Üretimi ve Peyzajda Kullanım Olanakları” adlı tez çalışması içerisindeki *Daphne pontica* L. türünün üretim süreçlerinde izlenen süreçler hakkında bilgiler verilmiştir.

6.1. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmanın bitkisel materyali Rize ili, Ardeşen ilçesi, Çamlıhemşin mevkiinde doğal olarak yayılış gösteren *Daphne pontica* L. türünün oluşturmaktadır. Çalışma, 2022–2023 yılları arasında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü’ne ait yarı kontrollü üretim serasında yürütülmüştür. Araştırmada, Rize ilinde doğal yayılış gösteren *D. pontica* türünden haziran, ağustos ve ekim aylarında alınan tepe çeliklerinin farklı köklendirme ortamlarında köklenme üzerine etkileri araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan köklendirme ortamları, 60 cm en x 120 cm boy x 30 cm derinliğine sahip deneme yastıklarında hazırlanmış olup, toplam altı farklı köklendirme ortamı (%100 Torf, %100 Perlit, %100 Dere Mili, %50 Torf + %50 Perlit, %50 Dere Mili + %50 Perlit, %50 Vermikülit + %50 Cocopeat) oluşturulmuştur. Çalışmada aylar ve ortamlara göre yapılan ölçümlerde 5 farklı parametre

(ortalama kök uzunluğu (cm), kök sayısı (adet), köklenme oranı (%), canlı çelik oranı (%), kalluslanma oranı (%)) incelenmiştir. Verilerin istatistiksel analizleri “SPSS 25.0” programı kullanılarak hesaplanmış ve Two Way ANOVA-Duncan testi uygulanmıştır. Duncan testi sonuçları $P < 0.05$ düzeyinde anlamlı kabul edilmiştir.

6.2. Bulgular

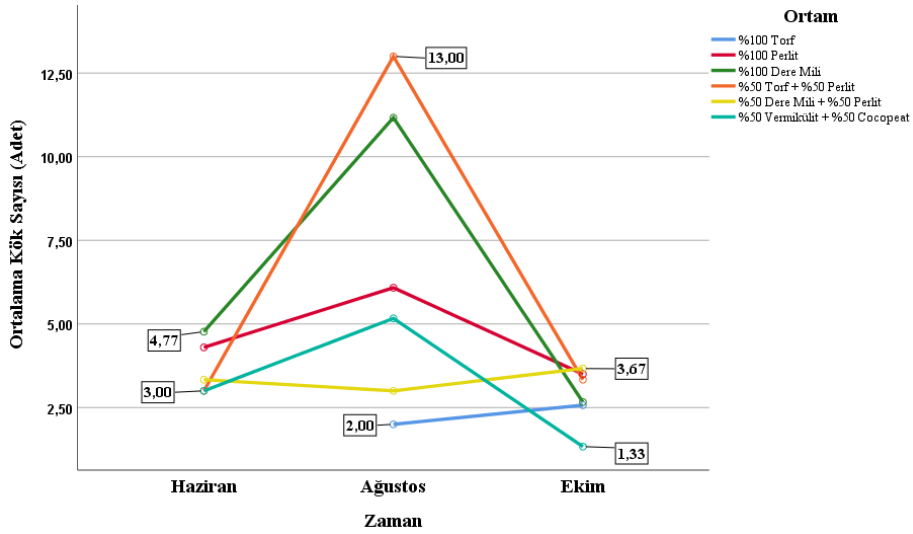
6.2.1. *Daphne pontica* l. taksonunda ortalama kök sayısına ait veriler

D. pontica türünde, en iyi ortalama kök sayısı gelişimi haziran ayında sırasıyla; 4,7 adet ile %100 dere mili, 4,3 adet ile %100 perlit, 3,3 adet ile %50 dere mili + %50 perlit, 3 adet ile %50 torf + %50 perlit ve %50 vermikülit + %50 cocopeat ortamlarında gerçekleştiği ortaya çıkmıştır.

D. pontica türünde, haziran ayında alınan yarı odunsu çeliklerin, %100 torf köklendirme ortamında köklenmediği gözlemlenmiştir.

D. pontica türünde, en iyi ortalama kök sayısı gelişimi ağustos ayında sırasıyla; 13 adet ile %50 Torf + %50 perlit, 11,1 adet ile %100 dere mili, 5,1 adet ile %50 vermikülit + %50 cocopeat, 4,3 adet ile %100 perlit, 3 adet ile %50 dere mili + %50 perlit ve 2 adet ile %100 torf ortamlarında gerçekleştiği ortaya çıkmıştır.

D. pontica türünde, en iyi ortalama kök sayısı gelişimi ekim ayında sırasıyla; 3,7 adet ile %50 dere mili + %50 perlit, 3,5 adet ile %100 perlit, 3,3 adet ile %50 torf + %50 pelit, 2,7 adet ile %100 dere mili, 2,6 adet ile %100 torf ve 1,3 adet ile %50 vermikülit + %50 cocopeat ortamlarında gerçekleştiği ortaya çıkmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. *D. pontica* türünün haziran-ağustos-ekim aylarında ortamlara göre ortalama kök sayıları

Tablo 2 incelendiğinde; ortam ve zaman*ortam etkileşiminin, kök sayısı üzerinde anlamlı bir fark göstermediği (ortam: $p=0,079>0,05$, zaman*ortam: $p=0,160>0,05$) zamanın ise kök sayısı üzerinde anlamlı bir fark gösterdiği görülmektedir ($p=0,006<0,05$).

Tablo 2. *D. pontica* türünde ortam, zaman, ortam-zaman etkileşiminin kök sayısına etkileri

	%100 Torf		%100 Perlit		%100 Dere Mili		%50 Torf + %50 Dere Mili		%50 Dere Mili + %50 Perlit		%50 Vermikülit + %50 Cocopeat	
	Ort.	S.S.	Ort.	S.S.	Ort.	S.S.	Ort.	S.S.	Ort.	S.S.	Ort.	S.S.
Haziran	-	-	4,30	2,88	4,76	3,03	3,00	1,00	3,33	2,50	3,00	-
Ağustos	2,00	1,00	6,08	7,26	11,16	5,50	13,00	-	3,00	8,82	5,16	5,49
Ekim	2,57	2,50	2,50	2,61	2,66	2,08	3,33	2,58	3,66	3,05	1,33	0,57
Ortam	F: 2,047 p: 0,079											
Zaman	F: 5,341 p: 0,006*											
Ortam*Zaman	F: 1,497 p: 0,160											

* $p<0.05$ düzeyinde anlamlıdır.

Tablo 3 incelendiğinde, *D. pontica* taksonunda köklendirme ortamlarına ait ortalama kök sayısına ilişkin Duncan testi sonucunda ortamların 3 farklı grupta değerlendirildiği gözlemlenmiştir. Buna göre; 1. Grup: %100 torf, %50 dere mili + %50 perlit ve %50 vermikülit + %50 cocopeat ortamları, 2. Grup: %100 perlit ve %50 torf + %50 perlit ortamları, 3. Grup: %100 dere mili ortamıdır.

Tablo 3. Köklendirme ortamlarına ait ortalama kök sayısına ilişkin Duncan test sonuçları

Ortamlar	Ort. Kök Sayısı
%100 Torf	2,33 ^a
%100 Perlit	4,67 ^{a, b}
%100 Dere Mili	7,28 ^b
%50 Torf + %50 Perlit	4,20 ^{a, b}
%50 Dere Mili + %50 Perlit	3,36 ^a
%50 Vermikülit + %50 Cocopeat	3,80 ^a

Tablo 4 incelendiğinde, zamanlara ait ortalama kök sayısına ilişkin Duncan testi sonucunda, zamanların 2 farklı grupta değerlendirildiği gözlemlenmiştir. Buna göre; 1. Grup: haziran ve ekim ayı, 2. Grup: ağustos ayıdır.

Tablo 4. Zamanlara ait ortalama kök sayısına ilişkin Duncan test sonuçları

Ortamlar	Ort. Kök Sayısı
Haziran	4,18 ^a
Ağustos	7,02 ^b
Ekim	2,96 ^a

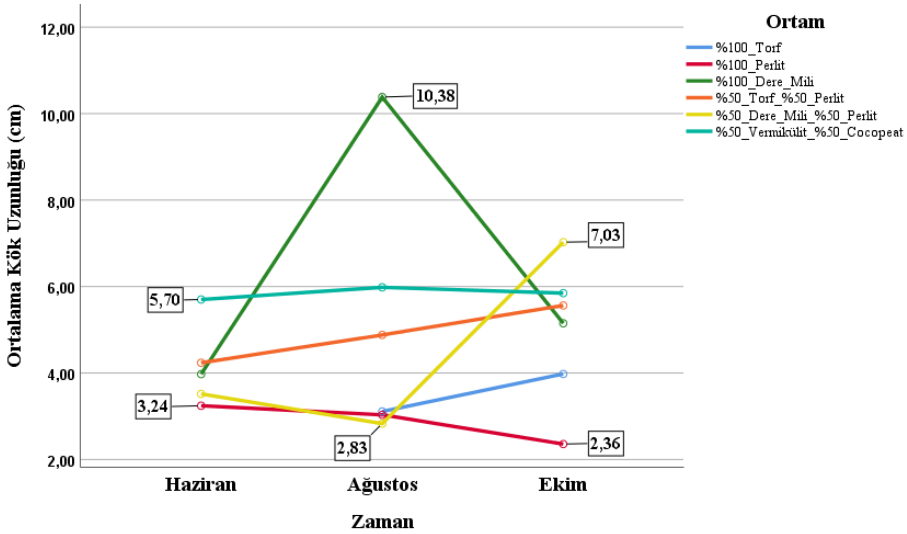
6.2.2. *Daphne pontica* L. türünün Ortalama Kök Uzunluğuna Ait Veriler

D. pontica türünde en iyi ortalama kök uzunluğu gelişimi haziran ayında sırasıyla; 5,7 cm ile %50 vermikülit + %50 cocopeat, 4,2 cm ile %50 torf + %50 perlit, 4 cm ile %100 dere mili, 3,5 cm ile %50 dere mili + %50 perlit ve 3,2 cm ile %100 perlit ortamlarında gerçekleştiği ortaya çıkmıştır.

D. pontica türünde en iyi ortalama kök uzunluğu gelişimi ağustos ayında sırasıyla; 10,4 cm ile %100 dere mili, 6 cm ile %50 vermikülit + %50 cocopeat,

4,9 cm ile %50 torf + %50 perlit, 3,1 cm ile %100 torf, 3 cm ile %100 perlit ve 2,8 cm ile %50 dere mili + %50 perlit ortamlarında gerçekleştiği ortaya çıkmıştır.

D. pontica türünde en iyi ortalama kök uzunluğu gelişimi ekim ayında sırasıyla; 7 cm ile %50 dere mili + %50 perlit, 5,8 cm ile %50 vermikülit + %50 cocopeat, 5,6 cm ile %50 torf + %50 perlit, 5,2 cm ile %100 dere mili, 4 cm ile %100 torf ve 2,8 cm ile %100 perlit ortamlarında gerçekleştiği ortaya çıkmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. *D. pontica* L. türünün haziran-ağustos-ekim aylarında ortamlara göre ortalama kök uzunlukları

Tablo 5 incelendiğinde; zamanın kök boyu üzerinde anlamlı bir fark göstermediği ($p=0,393>0,05$), ortam, zaman*ortam etkileşiminin ise kök boyu üzerinde anlamlı bir fark gösterdiği görülmektedir (ortam: $p=0,001<0,05$, zaman*ortam: $p=0,002<0,05$).

Tablo 5. Ortam, zaman, ortam-zaman etkileşiminin, *D. pontica* L. türünde kök uzunluğuna etkisine ilişkin iki yönlü varyans analizi sonuçları

	%100 Torf		%100 Perlit		%100 Dere Mili		%50 Torf + %50 Dere Mili		%50 Dere Mili + %50 Perlit		%50 Vermikülit + %50 Cocopeat	
	Ort.	S.S.	Ort.	S.S.	Ort.	S.S.	Ort.	S.S.	Ort.	S.S.	Ort.	S.S.
Haziran	-	-	3,24	1,84	3,97	2,67	4,23	1,01	3,51	3,64	5,70	-
Ağustos	3,11	2,69	3,03	1,92	10,38	4,45	4,88	-	2,83	1,82	5,98	3,85
Ekim	3,97	2,04	2,35	1,08	5,15	1,37	5,56	3,11	7,02	5,19	5,84	1,03
Ortam	F: 5,003 p: 0,001*											
Zaman	F: 0,943 p:0,393											
Ortam*Zaman	F: 3,220 p: 0,002*											

*p<0.05 düzeyinde anlamlıdır.

Tablo 6 incelendiğinde *D. pontica* türünde köklendirme ortamlarına ait ortalama kök uzunluğuna ilişkin Duncan testi sonucunda ortamların 5 farklı grupta değerlendirildiği gözlemlenmiştir. Buna göre; 1. Grup: %100 torf ve %100 perlit ortamları, 2. Grup: %50 dere mili + %50 perlit ortamı, 3. Grup: %50 torf + %50 perlit ortamı, 4. Grup: %50 vermikülit + %50 cocopeat ortamı, 5. Grup: %100 dere mili ortamıdır.

Tablo 6. Köklendirme ortamlarına ait ortalama kök boyuna ilişkin Duncan test sonuçları

Ortamlar	Ort. Kök Boyu
%100 Torf	3,61 ^a
%100 Perlit	3,00 ^a
%100 Dere Mili	6,61 ^c
%50 Torf + %50 Perlit	5,09 ^{a, b, c}
%50 Dere Mili + %50 Perlit	4,34 ^{a, b}
%50 Vermikülit + %50 Cocopeat	5,91 ^{b, c}

Tablo 7 incelendiğinde zamanlara ait ortalama kök boyuna ilişkin Duncan testi sonucunda zamanların 2 farklı grupta değerlendirildiği

gözlemlenmiştir. Buna göre; 1. Grup: haziran ayı, 2. Grup: ağustos ve ekim ayıdır.

Tablo 7. Zamanlara ait ortalama kök sayısına ilişkin Duncan test sonuçları

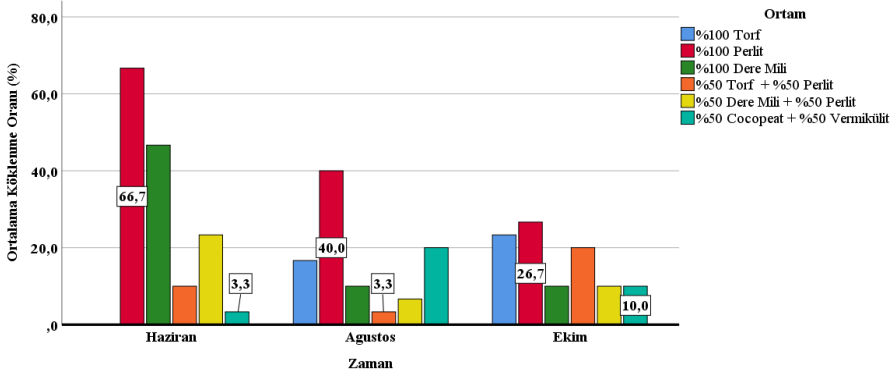
Ortamlar	Ort. Kök Boyu
Haziran	3,63 ^a
Ağustos	5,74 ^b
Ekim	4,47 ^{a, b}

6.2.3. *Daphne pontica* L. türünde Ortalama Köklenme Oranına Ait Veriler

D. pontica türünde en iyi ortalama köklenme oranı haziran ayında sırasıyla; %66,7 ile %100 perlit, %46,7 ile %100 dere mili, %23,3 ile %50 dere mili + %50 perlit, %10 ile %50 dere mili + %50 perlit, %3,3 ile %50 vermikülit + %50 cocopeat ortamlarında gerçekleştiği görülmektedir. *D. pontica* L. taksonundan, haziran ayında alınan yarı odunsu çeliklerin, %100 torf köklendirme ortamında köklenmediği ortaya çıkmıştır.

D. pontica türünde en iyi ortalama köklenme oranı ağustos ayında sırasıyla; %40 ile %100 perlit, %20 ile %50 vermikülit + %50 cocopeat, %16,7 ile %100 torf, %10 ile %100 dere mili, %3,3 ile %50 dere mili + %50 perlit ortamlarında gerçekleştiği ortaya çıkmıştır.

D. pontica türünde en iyi ortalama köklenme oranı ekim ayında sırasıyla; %26,7 ile %100 perlit, %23,3 ile %100 torf, %20 ile %50 torf + %50 perlit, %10 ile %100 dere mili, %50 dere mili + %50 perlit ve %50 vermikülit + %50 cocopeat ortamlarında gerçekleştiği ortaya çıkmıştır (Şekil 5).



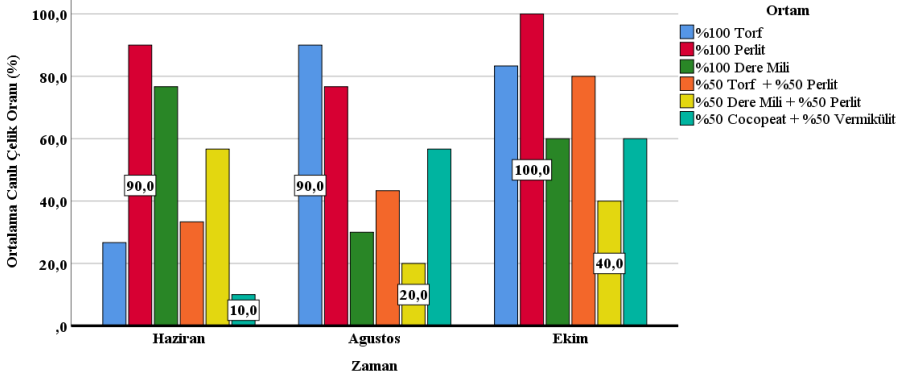
Şekil 5. *D. pontica* L. taksonunun haziran-ağustos-ekim aylarında köklenme ortamlarına göre ortalama köklenme oranı

6.2.4. *Daphne pontica* L. taksonunda Ortalama Canlı Çelik Oranına Ait Veriler

D. pontica türünde en iyi ortalama canlı çelik oranı haziran ayında sırasıyla; %90 ile %100 perlit, %76,7 ile %100 dere mili, %56,7 ile %50 dere mili + %50 perlit, %33,3 ile %50 dere mili + %50 perlit, %26,7 ile %100 torf ve %10 ile %50 vermikülit + %50 cocopeat ortamlarında gerçekleştiği ortaya çıkmıştır.

D. pontica türünde en iyi ortalama canlı çelik oranı ağustos ayında sırasıyla; %90 ile %100 torf, %76,7 ile %100 perlit, %56,7 ile %50 vermikülit + %50 cocopeat, %43,3 ile %50 torf + %50 perlit, %30 ile %100 dere mili ve %20 ile %50 dere mili + %50 perlit ortamlarında gerçekleştiği ortaya çıkmıştır.

D. pontica türünde en iyi ortalama canlı çelik oranı ekim ayında sırasıyla; %100 ile %100 perlit, %83,3 ile %100 torf, %80 ile %50 torf + %50 perlit, %60 ile %100 dere mili ve %50 vermikülit + %50 cocopeat, %40 ile %50 dere mili + %50 perlit ortamlarında gerçekleştiği ortaya çıkmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. *D. pontica* L. türünün haziran-ağustos-ekim aylarında köklenme ortamlarına göre ortalama canlı çelik oranı

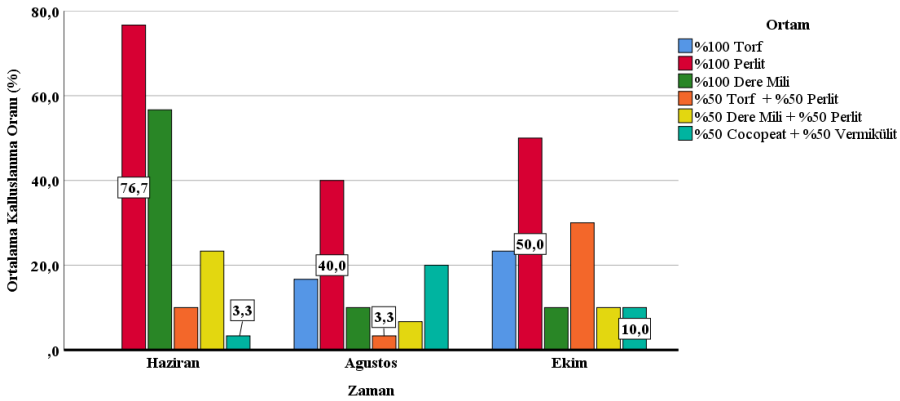
6.2.5. *Daphne pontica* L. Taksonunda Ortalama Kalluslanma Oranına Ait Veriler

D. pontica türünde en iyi ortalama kalluslanma oranı haziran ayında sırasıyla; %76,7 ile %100 perlit, %56,7 ile %100 dere mili, %23,3 ile %50 dere mili + %50 perlit, %10 ile %50 torf + %50 perlit ve %3,3 ile %50 vermikülit + %50 cocopeat ortamlarında gerçekleştiği ortaya çıkmıştır.

D. pontica türünde, haziran ayında alınan yarı odunsu çeliklerin, %100 torf köklendirme ortamında köklenmediği ve kallus oluşturmadığı ortaya çıkmıştır.

D. pontica türünde en iyi ortalama kalluslanma oranı ağustos ayında sırasıyla; %40 ile %100 perlit, %20 ile %50 vermikülit + %50 cocopeat, %16,7 ile %100 Torf, %10 ile %100 dere mili, %6,7 ile %50 dere mili + %50 perlit ve %3,3 ile % torf + %50 perlit, ortamlarında gerçekleştiği ortaya çıkmıştır.

D. pontica türünde en iyi ortalama kalluslanma oranı ekim ayında sırasıyla; %50 ile %100 perlit, %30 ile %50 torf+ %50 perlit, %23,3 ile %100 Torf, %10 ile %100 dere mili, %50 dere mili + %50 perlit ve %50 vermikülit + %50 cocopeat ortamlarında gerçekleştiği ortaya çıkmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. *D. pontica* L. türünün haziran-ağustos-ekim aylarında köklenme ortamlarına göre ortalama ortalama kalluslanma oranı

7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Daphne L. taksonları dünya üzerinde, Asya, Avrupa ve Kuzey Afrika bölgelerinde doğal yayılış gösteren, yaprak döken veya her dem yeşil çalılardan oluşmaktadır. Türkiye’de sekiz takson ile temsil edilen bu cins pek çok farmakolojik ve biyolojik etkiye sahip olmaları nedeniyle eski çağlardan beri halk arasında çeşitli hastalıkların tedavisinde kullanılmış; ayrıca sahip oldukları morfolojik özellikler sayesinde süs bitkisi olarak da değerlendirilmektedir.

Ne yazık ki Türkiye’de *Daphne* taksonlarının yeterince değerlendirilemediği, doğal bitki türlerinin yeterli düzeyde üretilmediği ve bu nedenle fidanlıklarda yaygın olarak bulunmadığı görülmektedir. Oysa Avrupa’nın dörtte üçü kadar bitki çeşitliliğine sahip olan Türkiye’de bu durum önemli bir sorun teşkil etmektedir. Doğal bitki taksonlarının üretimine yönelik çalışmaların artırılması, yalnızca peyzaj ve süs bitkisi sektörüne katkı sağlamakla kalmayacak, aynı zamanda ülkemizin zengin biyoçeşitliliğinin sürdürülebilirliği açısından da büyük önem taşıyacaktır. Bu tür çalışmaların yetersizliği, üreticilerin ticari amaçlı bahçe ve peyzaj uygulamalarında yabancı kökenli fidanlara bağımlı kalmasına yol açmakta; bu ise hem milli servetin kaybına hem de farklı orijinli egzotik türlerin ülkemize giriş yaparak yerel biyoçeşitliliğin bozulmasına neden olmaktadır.

Bu çalışmada,

D. pontica türünde; ortalama en iyi kök sayısı ağustos ayında, 13 adet ile %50 torf + %50 perlit ortamında, ortalama en iyi kök uzunluğu ağustos ayında,

10,4 cm ile %100 dere mili ortamında, en iyi köklenme oranı haziran ayında, %66,7 ile %100 perlit ortamında, en iyi canlı çelik oranı ekim ayında, %100 ile %100 perlit ortamında, en iyi kalluslanma oranı haziran ayında, %76 ile %100 perlit ortamında gerçekleştiği tespit edilmiştir.

D. pontica türünde yarı odunsu çelikler ile yapılan üretim çalışmasında, haziran ve ağustos aylarının önem taşıdığı ve bu aylarda torf, perlit ve dere mili ortamlarının belirleyici olduğu sonucuna varılmıştır.

Türkiye’de doğal yayılış gösteren diğer *Daphne* L. taksonlarının üretilmesi önerilmekte olup *D. pontica* taksonunda planlı bir şekilde ıslah çalışmalarının yapılması ve bu sayede olumsuz çevre koşullarına, hastalık ve zararlılara dayanıklı, kaliteli ve estetik görünüme sahip yeni ve üstün bireylerin ortaya çıkması sağlanmalıdır. Gelecek çalışmalarda farklı hormon uygulamaları, çelik tipleri, çevresel faktörlerin optimizasyonu ve in-vitro yöntemlerin denenmesi yönünde sürdürülmesi, *Daphne* taksonlarının sürdürülebilir çoğalmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Afzal, S., Afzal, N., Awan, M. R., Khan, T. S., Gilani, A., Khanum, R., & Tariq, S. (2009). Ethno-botanical studies from Northern Pakistan. *Journal of Ayub Medical College*, 21(1), 52-7.
- Agnihotri, S., Wakode, S., & Agnihotri, A. (2010). An overview on anti-inflammatory properties and chemo-profiles of plants used in traditional medicine. *Indian Journal of Natural Products and Resources*, 1(2), 150-167.
- Ahmad, S., Ali, A., Beg, H., & Dasti, A.A. (2006). Of Booni Valley, District Chitral Pakistan. *Pakistan Journal of Weed Science Research*, 12(3), 183-90.
- Akkemik, Ü. (2018). Türkiye'nin Doğal-Egzotik Ağaç ve Çalıları. Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara. 684 s.
- Alonso, C., & Herrera, C.M. (2001). Neither vegetative nor reproductive advantages account for high frequency of male-steriles in southern Spanish gynodioecious *Daphne laureola* (Thymelaeaceae). *American Journal of Botany*, 88(6), 1016-1024.
- Apak, S. (1986). *Daphne pontica* L. Üzerinde Fitokimyasal Ayırmalar. Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 33 s.
- Arı, E., Gürbüz, E., Tuğrul Ay, S. (2014). Seed germinations of 20 wild species growing in Antalya (Turkey) with outdoor ornamental plant potential. Fifth International Scientific Agricultural Symposium, 439-445.
- Asal, D., & Yaşarkan, O. (2017). Türkiye Bitkileri Listesi Damarlı Bitkiler”nde Mükerrer Olan 171 Takson İçin Yeni Bilimsel Türkçe Adlar. *Bağbahçe Bilim Dergisi*, 4(2), 1-7.
- Avcı, E. (2023). *Daphne pontica* L. Bitkisinin Sitotoksik ve Antidiyabetik Etkileri ile Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 113 s.
- Berner, G., Mihalega, C. & Rapaka, V. (2009). Propagation of difficult to root semi- hardwood and hardwood evergreen cuttings. 54 th Annual Meeting of the IPPS Eastern Region, Cleveland, 14-17 October.
- Biondi, E., Biscotti, N., Pesaresi, S., & Casavecchia, S. (2014). The *Daphne sericea* vahl vegetation in the gargano promontory (Southern Italy). *Plant Sociology*, 51(2), 57-68.
- Bussmann, R. W., Batsatsashvili, K., Kikvidze, Z., Paniagua-Zambrana, N.Y., Khutsishvili, M., Maisaia, I., Sikharulidze, S. & Tchelidze, D. (2020). *Daphne caucasica* Pall. *Daphne glomerata* Lam. *Daphne mezereum* L. *Daphne pontica* L. Thymelaeaceae. Ethnobotany of the Mountain Regions of Far Eastern Europe: Ural, Northern Caucasus, Turkey, and Iran, 361-370.
- Can, T. H. (2019). Sıyırıcık (*Daphne gnidioides*) ve Sırımbağı (*Daphne pontica*) Bitki Ekstraktlarının Biyolojik Etkinliğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans

- Tezi. Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu, Türkiye, 116 s.
- Carter, A. R. (1979). Discussion group report: daphne propagation [Varieties]. In *Combined Proceedings International Plant Propagators' Society* (Vol. 29).
- Carter, A.R., (1979). Discussion group report Daphne propagation. Comb. Proc. Intl.
- Chaabane, F., Boubaker, J., Loussaif, A., Neffati, A., Kilani-Jaziri, S., Ghedira, K., & Chekir-Ghedira, L. (2012). Antioxidant, genotoxic and antigenotoxic activities of *daphne gnidium* leaf extracts. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 12(1), 153.
- Chen, J., Liu, X., & Shi, Y.P. (2004). Determination of daphnetin in *Daphne tangutica* and its medicinal preparation by liquid chromatography. *Analytica Chimica Acta*, 523(1), 29-33.
- Chwil, M. (2014). The nectary structure and nectar production in flowers of *Daphne mezereum* L. *Modern Phytomorphology*, 6.
- Condon, M. (2007). Daphne. <http://www.hsoc.org.au/documents/DAPHNE> by Merylyn Condon.pdf. Erişim tarihi: 10.08.2025.
- Çelik Altinoğlu, Y., Can, T. H., Tüfekçi, E. F. Altunoglu, B. D., Baloğlu, M. C., Llorent-Martínez, E. J. & Zengin, G. (2020). Comprehensive approaches on chemical composition and biological properties of *Daphne pontica* L. extracts. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 156:1, 116-129.
- Çorbacı, Ö. L., & Ekren, E. (2021). Rize kentsel açık yeşil alanlarında kullanılan tıbbi ve aromatik bitkilerin değerlendirilmesi. Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi, 17(1), 159-172.
- Davis, P. H. (1982). Flora of Turkey and East Eagean Island, Vol. 7., Edinburgh University Press, Edinburgh, p. 520-526.
- Doğanca, S. & Apak, S. (2015). *Daphne pontica* L. üzerinde fitokimyasal araştırmalar. *Marmara Pharmaceutical Journal*, 2(2), 157-160.
- Ertuğ, S. (2002). 14. Bitkisel İlaç Hammaddeleri Toplantısı. K. H. C. Başer ve N. Kırimer (Editörler). Bodrum yöresinde halk tıbbında yararlanılan bitkiler (ss. 76-93).
- Eskandari, B., Safavi, M., Lamardi, S.N.S., & Vazirian, M. (2019). Cytotoxic evaluation of *Daphne pontica* L. aerial part extracts on three cancerous cell lines by MTT assay. *Traditional and Integrative Medicine*, 4(2), 58-63.
- Fang, Y., Enhe, Z., Qinli, W., & Zhuhong, M. (2016). Germination and dormancy-breaking of *Daphne giraldii* Nitsche (Thymelaeaceae) seeds from northwestern China. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 22(1), 99-113.

- Farooq, S., Barki, A., Yousaf Khan, M., & Fazal, H. (2012). Ethnobotanical studies of the flora of tehsil Birmal in South Waziristan Agency, Pakistan. *Pakistan Journal of Weed Science Research*, 18(3), 277-291.
- Frezza, C., Venditti, A., De Vita, D., Sciubba, F., Tomai, P., Franceschin, M., Di Cecco, M., Ciaschetti, G., Di Sotto, A., Stringaro, A., Colone, M., Gentili, A., Serafini, M. & Bianco, A. (2021). Phytochemical analysis and biological activities of the ethanolic extract of daphne sericea Vahl flowering aerial parts collected in central Italy. *Biomolecules*, 11(3), 379.
- Garibaldi, A., Bertetti, D., & Gullino, M. L. (2009). First report of collar and root rot caused by *Phytophthora nicotianae* on *Daphne odora* in Italy. *Plant Disease*, 93(8), 848-848.
- Göktaş, Ö., & Gıdık, B. (2019). Tıbbi ve aromatik bitkilerin kullanım alanları. *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1), 145-151.
- Grubešić, R.J., Kremer, D., Končić, M.Z., Rodríguez, J.V., & Randić, M. (2012). Quantitative analysis of polyphenols and antioxidant activity in four *Daphne* L. species. *Central European Journal of Biology*, 7, 1092-1100.
- Güner, A., Aslan, S., Babaç, M.T., Vural, M., & Ekim, T. (2012). Türkiye bitkileri listesi (damarlı bitkiler) Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi. Istanbul, Turkey, 1-1290.
- Güzel, Y., Güzelşemme, M., & Miski, M. (2015). Ethnobotany of medicinal plants used in Antakya: a multicultural district in Hatay Province of Turkey. *Journal of Ethnopharmacology*, 174, 118-152.
- Hanus-Fajerska, E., Wiszniewska, A., & Czaicki, P. (2012). Effectiveness of *Daphne* L.(Thymelaeaceae) in vitro propagation, rooting of microshoots and acclimatization of plants. *Acta Agrobotanica*, 65(1), 21-28.
- Hu, Y., Pan, R., Wang, Y., Ma, M., Peng, Y., Fan, W., Zhang, R., Nian, H., & Zhu, J. (2024). *Daphne genkwa*: Ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacology of an important traditional Chinese medicine. *Fitoterapia*, 177, 106089.
- Irfan, M., Ali, D., Jan, G., & Murad, W. (2018). Ethnobotanical survey of the flora of tehsil balakot, district mansehra, khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Specialty Journal of Biological Sciences*, 4(3-2018), 7-14.
- Jarić, S., Popović, Z., Mačukanović-Jocić, M., Djurdjević, L., Mijatović, M., Karadžić, B., Mitrović, M., & Pavlović, P. (2007). An ethnobotanical study on the usage of wild medicinal herbs from Kopaonik Mountain (Central Serbia). *Journal of Ethnopharmacology*, 111(1), 160-175.
- Juskovic, M., Zabar-Popovic, A., Matejić, J. S., Mihajilov-Krstev, T., Manojlovic, N., & Vasiljević, P. (2017). Phytochemical screening, antioxidants and antimicrobial potential of leaves of *Daphne laureola* L. *Oxidation*, 40, 1058-69.

- Kendir, G., & Güvenç, A. (2010). Etnobotanik ve Türkiye’de yapılmış etnobotanik çalışmalara genel bir bakış. *Hacettepe University Journal of the Faculty of Pharmacy*, (1), 49-80.
- Khan, K., Rahman, I.U., Calixto, E. S., Ali, N., & Ijaz, F. (2019). Ethnoveterinary therapeutic practices and conservation status of the medicinal flora of Chamla Valley, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Frontiers in Veterinary Science*, 6, 122.
- Khan, M. P. Z., Ahmad, M., Zafar, M., Sultana, S., Ali, M. I., & Sun, H. (2015). Ethnomedicinal uses of edible wild fruits (EWFs) in Swat Valley, Northern Pakistan. *Journal of Ethnopharmacology*, 173, 191-203.
- Khouchlaa, A., El Menyiy, N., Guaouguaou, F.E., El Baaboua, A., Charfi, S., Lakhdar, F., El Omari, N., Taha, D., Shariati, M. A., Rebezov, M., El Shazly, M., & Bouyahya, A. (2021). Ethnomedicinal use, phytochemistry, pharmacology, and toxicology of *Daphne gnidium*: a review. *Journal of Ethnopharmacology*, 275, 114124.
- Kupchan, S. M., & Baxter, R. L. (1975). Mezerein: antileukemic principle isolated from *Daphne mezereum* L. *Science*, 187(4177), 652-653.
- Kupeli, E., Tosun, A., & Yesilada, E. (2007). Assessment of anti-inflammatory and antinociceptive activities of *Daphne pontica* L.(Thymelaeaceae). *Journal of Ethnopharmacology*, 113(2), 332-337.
- Lamb, J. G. D. & Nutty, F. J. (1986). Observations on the propagation of daphnes. *Plantsman*, 8(2), 109-111.
- Marks, T. R. (1997). Micropropagation of *Daphne* L. In *High-tech and micropropagation VI* (pp. 113-130). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Mchedlidze, K., Churadze, M., Aneli, J., Moshiasvili, G., & Mshvildadze, V. (2019). Anatomical structure of the stem and leaf of *Daphne glomerata* Lam. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(4), 3241-3244.
- Mohamed, W. N., Butt, H. S., Schmidt, T. J., Eltvik, A. A., Wu, D., Malterud, K. E., Inngjerdingen, M., Inngjerdingen, K. T., & Wangenstein, H. (2025). Biflavonoids and bi- and tricoumarins from *Daphne mezereum* and inhibition of TNF- α secretion. *Phytochemistry*, 229, 114308.
- Moshiasvili, G., Tabatadze, N. & Mshvildadze, V. (2020). The genus *Daphne*: A review of its traditional uses, phytochemistry and pharmacology. *Fitoterapia*, 143, 104540.
- Murad, W., Ahmad, A., Gilani, S. A., & Khan, M. A. (2011). Indigenous knowledge and folk use of medicinal plants by the tribal communities of Hazar Nao Forest, Malakand District, North Pakistan. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(7), 1072-1086.
- Nie, Y.W., Li, Y., Luo, L., Zhang, C.Y., Fan, W., Gu, W.Y., Shi, K.R., Zhai, X. X. & Zhu, J. Y. (2021). Phytochemistry and Pharmacological Activities of the Diterpenoids from the Genus *Daphne*. *Molecules* 2021, 26, 6598.

- Nohutçu, L., Tunçtürk, M., & Tunçtürk, R. (2019). Yabani bitkiler ve sürdürülebilirlik. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24(2), 142-151.
- Noshad, D., Miresmaili, S., Riseman, A. & Ekramoddoullah, A. (2009). In vitro propagation of seven *Daphne* L. species. *Plant Cell Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 96, 201-209.
- Nowakowska, K. & Pacholczak, A. (2020). *Daphne mezereum* L. mikroçoğaltımı sırasında meta-Topolin ve benziladeninin etkisinin karşılaştırılması. *Tarım Bilimi*, 10 (12), 1994.
- Öztürk, G. (2023). Türkiye'de yetişen *Daphne* L. türlerinin kimyası ve biyolojik aktiviteleri. Doktora Tezi. Anadolu Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye, 152 s.
- Quave, C.L., & Saitta, A. (2016). Forty-five years later: The shifting dynamic of traditional ecological knowledge on Pantelleria Island, Italy. *Economic -Botany*, 70(4), 380-393.
- Ro, N.Y., Ko, H.C., Hur, O.S., Kang, M.J., Oh, S.J. & Huh, Y.C. (2011). Rooting performance using cuttings and analysis of light and soil environmental characteristics for indoor plants of winter daphne (*Daphne odora* Thunb). *Journal of Bio-Environment Control*, 20(4), 346-351.
- Ro, N. Y., Song, E. Y., Kim, S. C., Ko, H. C. & Lee, S. Y. (2010). Propagation of a rare variety *Daphne kiusiana* Miq. in Korea through softwood cuttings. *Journal of Bio-Environment Control*, 19(4), 246-250.
- Ronlán, A., & Wickberg, B. (1970). The structure of mezerein, a major toxic principle of *Daphne mezereum* L. *Tetrahedron Letters*, 11(49), 4261-4264.
- Sefalı, A. (2023). Bayburt ilinde yetişen yabani meyvelerin tespiti ve bazı incelemeler. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(1), 52-67.
- Sharma, R.P., Bhandari, S.K., & Bk, R.B. (2017). Allometric bark biomass model for *Daphne bholua* in the Mid-hills of Nepal. *Mountain Research and Development*, 37(2), 206-215.
- Sovrlıć, M., & Manojlović, N. (2017). Plants from the genus *Daphne*: A review of its traditional uses, phytochemistry, biological and pharmacological activity. *Serbian Journal of Experimental and Clinical Research*, 18(1), 69-79.
- Soyyigit, F. (2024). *Daphne pontica* L. ve *Daphne odora* Thunb. 'Aureomarginata' Taksonlarının Çelikle Üretimi ve Peyzajda Kullanım Olanakları. Yüksek Lisans Tezi. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Rize, Türkiye, 66 s.
- Tabidze, B., Moshiaşvili, G., Tabatadze, N., Aneli, J., & Mshvildadze, V. (2014). Preliminary phytochemical and biological evaluation of daphne glomerata extracts. *Georgian Medical News*, 229(4), 88-91.

- Tang, Z.Y., Fan, R.Z., Yin, A.P., Tang, D.K., Ahmed, A., Cao, J., ... & Tang, G. H. (2021). Flavonoids with anti-inflammatory activities from *Daphne giraldii*. *Arabian Journal of Chemistry*, 14(2), 102962.
- Taniguchi M, Fujiwara A & Baba K. (1997). Three flavonoids from *Daphne odora*. *Phytochemistry*. 45(1), 183-188.
- Taniguchi, M., Fujiwara, A., Baba, K., & Wang, N. H. (1998). Two biflavonoids from *Daphne acutiloba*. *Phytochemistry*, 49(3), 863-867.
- Temel, M., Tinmaz, A. B., Öztürk, M., & Gündüz, O. (2018). Dünyada ve Türkiye’de tıbbi-aromatik bitkilerin üretimi ve ticareti. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 21, 198-214.
- Ticknor, R. L. (1989). Production of *Daphne x burkwoodii* “Carol Mackie”. *Ornamentals Northwest Archives*, 13(2): 4-8.
- Tongur, T. (2014). *Daphne Sericea ve Daphne Gnidioides Bitki Ekstraktlarının Bileşimlerinin Ve Antioksidan Aktivitelerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, Türkiye, 123 s.
- Tongur, T., Erkan, N. & Ayrancı, E. (2018). *Daphne sericea L. ve Daphne gnidioides L.’nin aseton ve metanol ekstraktlarının bileşimi ve antioksidan aktivitesinin araştırılması*. *Gıda Bilimi ve Teknolojisi Dergisi*, 55, 1396-1406.
- Tosun, A. & Özkal, N. (2002). Studies on the anatomical structure of the leaf and stem of *Daphne pontifica* L. (Thymelaeaceae). *Fabad. J Pharm Sci*, 27(4), 205-210.
- Tosun, A. (2006). Chemical constituents and biological activities of *Daphne L.* species. *Journal of Faculty of Pharmacy of Ankara University*, 35(1), 43-68.
- Ullah, N., Ahmad, S., & Malik, A. (1999). Phenylpropanoid glycosides from *Daphne oleoides*. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 47(1), 114-115.
- Url-1, (2024). <http://194.27.225.161/yasin/tubives/index.php>. Erişim Tarihi: 17.03.2024
- Url-2, (2024). [https://en.wikipedia.org/wiki/Daphne_\(plant\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Daphne_(plant)). Erişim Tarihi: 17.03.2024
- Uzunoğlu, F. (2021). Doğu Akdeniz Bölgesi *Daphne* Türlerinin, Morfolojik Karakterizasyonları, Süs Bitkisi Olarak Kullanılabilecek Tiplerin Belirlenmesi ve Çoğaltma Tekniklerinin Araştırılması. Doktora Tezi. Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay, Türkiye, 379 s.
- Uzunoğlu, F., & Mavi, K. (2024). Bazı ‘*Daphne*’ türlerinin tohumla çoğaltma yönteminin belirlenmesi. *AgriTR Science*, 2024, 6(1): 9-18.
- Varlı, M., Hancı, H., & Kalafat, G. (2020). Tıbbi ve aromatik bitkilerin üretim potansiyeli ve biyoyararlılığı. *Research Journal of Biomedical and Biotechnology*, 1(1), 24-32.

- Yeşilada, E., Taninaka, H., Takaishi, Y., Honda, G., Sezik, E., Momota, H., ... & Taki, T. (2001). In vitro inhibitory effects of *Daphne oleoides* ssp. *oleoides* on inflammatory cytokines and activity-guided isolation of active constituents. *Cytokine*, 13(6), 359-364.
- Yeşilada, E., Üstün, O., Sezik, E., Takaishi, Y., Ono, Y., & Honda, G. (1997). Inhibitory effects of Turkish folk remedies on inflammatory cytokines: interleukin-1 α , interleukin-1 β and tumor necrosis factor α . *Journal of Ethnopharmacology*, 58(1), 59-73.
- Zaidi, A., Bukhari, S.M., Khan, F. A., Noor, T., & Iqbal, N. (2015). Ethnobotanical, phytochemical and pharmacological aspects of *Daphne mucronata* (Thymeleaceae). *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 14(8), 1517-1523.
- Zheng, W. F., Shi, F., Wang, L., 2006. Analgesic activity of ethanol extract from root of *Daphne genkwa*. *Chinese Traditional and Herbal Drugs* 37, 398– 402.
- Zobel, A. M., & Brown, S. A. (1989). Localization of daphnetin and umbelliferone in different tissues of *Daphne mezereum* shoots. *Canadian journal of botany*, 67(5), 1456-1459.

BÖLÜM 9

KASTAMONU'DA SALEP (*Orchis* spp.) YETİŞTİRİCİLİĞİ: TARIMSAL UYGULAMALAR, PROJELER VE YEREL KALKINMA POTANSİYELİ

Prof. Dr. Nurcan YİĞİT¹

Doç. Dr. İnci Sevinç KRAVKAZ KUŞCU²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17737691>

¹ Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Kastamonu, Türkiye. nyigit@kastamonuedu.tr, Orcid ID: 0000-0002-4655-4434

² Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Kastamonu, Türkiye. ikrackaz@kastamonuedu.tr, Orcid ID: 0000-0001-8519-4681

1. GİRİŞ

Salep, Orchidaceae (salepgiller) familyasına ait çeşitli türlerin toprak altı yumrularından elde edilen ve hem tıbbi hem de besin bileşenleri yönünden gıda alanında kullanılan yüksek değerli bir bitkisel üründür. Orchidaceae familyası, karasal, tropikal ve epifitik yapıda yaşamı benimsemiş türleri kapsayan, biyolojik açıdan en karmaşık ve çeşitli taksonomik gruplardan birini oluşturmaktadır (Swarts ve Dixon 2009). Türkiye, Orchidaceae familyasına ait barındırdığı alttür çeşitliliği bakımından Avrupa'nın en zengin ülkelerinden biridir. Kastamonu bölgesinde hem doğal yayılış alanları hem de mikroklimatik özellikleri ile bu türlerin kültüre alınması açısından önemli bir potansiyel taşımaktadır (Gürlevik ve Sarıbaş 2020).

Orchidaceae familyası, dünya üzerindeki takson sayısı bakımından zengin (25.000–35.000 türden oluşan) familyalardan biridir. Türkiye florası, salepgiller familyası olarak 24 cins ve 229 takson ile dikkate değer oldukça zengin bir çeşitlilik sergilemektedir (Güler ve Deniz 2012; Attri vd. 2020). Bu rakamın her geçen yıl yeni tür teşhisleri ile arttığı ifade edilmektedir (Swarts ve Dixon 2009; Sandal ve Söğüt 2010; Enderby 2016). Türkiye yıllardır Avrupa ülkelerine salep ihracatını sürdürmüş olup bu süreçte doğadan bilinçsizce sökülmeleri suretiyle tür tükenme tehlikesiyle karşı karşıya kalmıştır. Türkiye’de salep orkidesi türlerinin doğadan kontrolsüz şekilde toplanması ve ticaretinin artması nedeniyle, 1974 yılında “T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı” tarafından salep yumrularının ihracat amaçlı olarak sökümlü kesin olarak yasaklanmıştır. Bu karar hem doğal popülasyonların korunması hem de kaçak sökümlerin önlenmesi amacıyla yürürlüğe konulmuştur. Bu yasakların getirilmiş olmasına rağmen ülke içerisinde salep ticareti bir şekilde devam ettirilmiştir. Salep orkidelerinin yayılış yaptığı tespit edildiği doğal popülasyonlarının korunması, kontrollü koşullarda deneme ve ticari amaçlı üretiminin yaygınlaştırılması, ayrıca sektörde artan talebin karşılanmasında standart ve kaliteli ürün arzının sağlanması amacıyla; “T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı” tarafından 2016 senesinde “Tıbbi ve Aromatik Bitki” kullanımına, 2022 senesinde ise “gıda amaçlı üretime yönelik” olmak üzere özel izinli ve sertifikalı tohumluk temini ile yurt içinde salep yetiştiriciliği ve tüketimine yasal düzenlemeler çerçevesinde izin verilmiştir.

Salep bitkisi, dünya üzerinde çeşitli bölgelerde doğal olarak yetişen ve yumru kök yapısına sahip çok yıllık bir bitkidir. Salep bitkisinin vejetatif olarak üremesine olanak sağlayan yumru kökleri çeşitli işlemlerle muamele edilerek kurutulmak suretiyle tüketilmektedir. Daha sonrasında da gastronomi alanında (kurabiye, pasta ve özellikle dondurma gibi ürünlerde kıvam arttırıcı madde olarak veya kış aylarında genellikle sıcak formlarda içim olarak) tüketilmektedir. Aynı zamanda farmakolojik özellikleri nedeniyle ilaç endüstrisinde de hammadde olarak kullanılmaktadır. Ancak yumrulu orkidelerin büyük bir kısmı, biyolojik özellikleri gereği her yıl yalnızca tek bir yumru oluşturdıklarından dolayı tarımsal üretime elverişli değildir. Bu nedenle, türlerin çoğu kontrollü üretim yerine doğal habitatlarından rastgele ve yoğun şekilde toplanmakta, bu da popülasyonların sürdürülebilirliğini ciddi biçimde tehdit etmektedir. Bu sebeplerden ötürü dünya üzerinde nesli tükenme tehdidi altında olan salep türlerinin doğal ortamlarından toplanıp sökülmesi tüm dünya üzerinde yasalar doğrultusunda yasaklanmıştır.

Dünya üzerinde salep bitkisinin yasa dışı yollardan toplanması aynı zamanda da ticaretinin yapılması ve tohumlarında endosperm bulunmaması sebebiyle üremesi zor bir tür olmasından dolayı salep bitkisinin neslinin tehlike altında olduğunu ortaya koyan oldukça fazla bilimsel çalışma yapılmıştır (Kasperek ve Grimm 1999; Ghorbani vd. 2014; Warghat vd. 2014; Kreziou vd. 2016; Masters vd. 2022). Salep bitkisinin gıda ve ilaç sanayinde kullanılabilecek farmakolojik ve yüksek besin değeri içerdiğine yönelik çalışmaların yanın da antioksidan ve antimikrobiyal özelliklerini inceleyen çalışmalarda bulunmaktadır (Razavi vd. 2014; Jahromi vd. 2015; Karimi ve Kenari 2016; Bardajee ve Hooshyar 2017; Chen vd. 2021). Salebin prebiyotik etki gösteren polisakkarit bileşen içeriklerinin ortaya konması, bu bitkinin gıda olarak kullanımında fonksiyonel besin niteliği açısından daha da değerli kılmaktadır (Usta Gorgun ve Yılmaz Ersan 2020).

Türkiye’de Orchidaceae familyasına ait türlerin genel özellikleri üzerine çeşitli araştırmalar yapılmış olup, ayrıca nesli tükenme tehlikesi altında bulunan salep türleri üzerine de önemli çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Gezgin ve Eltem, 2009; Deniz, 2013; Molnar vd., 2017; Erzurumlu 2011). Aynı zamanda salep tarımının sürdürülebilirlik ilkesi doğrultusunda üretim koşullarını irdeleyen çeşitli araştırmalar da yapılmıştır (Bektaş vd. 2013; Çalışkan vd. 2019; Çalışkan vd. 2020; Kurt 2020; Çalışkan vd. 2021). Tüm bu verilerden yola çıkarak gerek

ulusal gerekse küresel ölçekte değerlendirildiğinde, salep bitkisinin laboratuvar ve deneme alanları dışında, gerçek çiftçi koşullarında üretimi ve ekonomik açıdan yapılabilirliğini kapsamlı biçimde ortaya koyan bir çalışmaya rastlanmamaktadır. Mevcut araştırmalar incelendiğinde çoğunlukla üretim kontrollü ortamlarda yürütülmekte olup, üreticilerin yetiştiricilik deneyimi ile doğal iklim, toprak, meteorolojik değişkenler ve piyasa dinamikleri gibi gerçek saha koşulları büyük ölçüde göz ardı edilmektedir.

Salep yumrusu üretiminde değerlendirilen ve kullanılan orkideler, Orchidaceae familyası içerisinde yer alan ve terrestrial (toprakta yaşayan) ve kutup kuşağı dışında ılıman iklim kuşağına adaptasyon göstermiş türlerdir. Türkiye, Avrupa-Sibiryaya, İran-Turan ve Akdeniz fitocoğrafik bölgelerinin kesişim noktasında yer alması, farklı yükselti kademelerine ve toprak tiplerine sahip olması ve farklı iklim koşullarının hüküm sürmesi nedeniyle oldukça yüksek floristik çeşitliliğe sahiptir. Bu zenginlik salep bitkisi tür çeşitliliğine de doğrudan yansımaktadır. Türkiye, orta kuşak içerisinde terrestrial orkideler bakımından Avrupa ve Ortadoğu'nun en zengin ülkeleri arasında gösterilmektedir (Sezik 1984, 2002; Kreutz 2009; Hossain 2011; Yaman 2013).

Türkiye'de doğal olarak yetişen salep orkideleri; maki, çayır, zeytinlik ve tarım alanlarının yansısı, orman içi açıklıklarda da yaygın şekilde yetişmektedir. Genellikle gölgelik alanlarda yetişen bitkiler olduklarından dolayı ışık ihtiyacı bakımından da son derece kanaatkâr bir türdür. Türkiye'de salep orkidelerinin en yoğun bulunduğu bölgeler; Kastamonu, Sinop, Muğla, Antalya, Silifke, Kahramanmaraş, Gaziantep, Hatay çevresi, Elâzığ, Van, Muş, Bitlis çevresi ve Yozgat-Akdağ madeni civarıdır. Bu salep orkidelerinin ticari olarak bilinen isimleri de yayılış yaptıkları alanlara göre; Kastamonu salebi, Muğla salebi, Maraş Salebi, Van Salebi ve Akdağmadeni salebi gibi yerel isimlerle adlandırılmaktadır. Tür bazında bakıldığında ise Kastamonu salebi olarak adlandırılan ve yumrusundan faydalanılan salep türleri *Orchis pinetorum*, *O. purpurea*, *Dactylorhiza romana*, *O. pallens*, *Anacamptis pyramidalis*, *O. simia*, *O. tridentata* olarak belirtilmiştir (Sezik ve Baykal 1991; Sezik vd. 2007).

Salep bitkisinin mikroskobik bir boyutta çok küçük olan tohumları sadece ilkbahar mevsiminden sonbahara kadar çimlenebilme kabiliyetini koruyabilmektedir. Tür doğal yayılış alanlarında tohumdan ya da daha çok yumruları vasıtasıyla vejetatif şekilde üreme yapmaktadırlar. Tohum yapısı

içerisinde endosperm bulunmadığından dolayı tohumların sadece %1-5'lik bir kısmı endo ve ekto mikoriza yapan funguslarla birlikte simbiyotik yaşama girerek çimlenebilme kabiliyeti kazanmaktadır. Salep bitkisi ile mikorizal mantarlar arasında simbiyotik bir ilişki bulunmaktadır. Bitki fotosentez yoluyla elde ettiği besinleri mikorizaya aktarırken; mikoriza da bitkiye suyun yanında, makro ve mikro besin elementlerinin taşınmasında destek sağlamaktadır. Bu nedenle, tohumla üretim yapılacak alanlarda organik madde ve humus açısından zengin, biyolojik olarak aktif toprakların tercih edilmesi önem arz etmektedir (Gülşen 2017). Salep bitkisi her yıl yalnızca bir adet yavru yumru oluşturmaktadır ve bu süreçte gelişen yeni yumru, besin ihtiyacını eski yumrudan karşılamakta; eski yumru zamanla buruşarak yok olmaktadır. Salep yumrularının teknolojik ve fonksiyonel kullanım özellikleri esas olarak içerdiği yüksek moleküler ağırlıklı polisakkarit olan glikomannan bileşiğinden kaynaklanmaktadır (Sezik 1967; Tekinşen 2006a). Bu bileşiğin kimyasal kompozisyonu ve fonksiyonel özellikleri, elde edildiği taksonomik türe göre değişiklik göstermekte olup, özellikle geleneksel dondurma üretiminde ürün kalitesi üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Nitekim glikomannan içeriği yüksek kaliteli salep türleri, geleneksel dondurma formülasyonlarında genellikle 1 litre süte 7-8 gram düzeyinde katkı maddesi olarak kullanılmaktadır (Tekinşen ve Karacabey 1984; Tekinşen ve Tekinşen 2005).

Doğal ortamda her bir salep bitkisi toprak altında genellikle iki adet yumruya sahiptir. Bu yumrulardan koyu renkli olanı yaşlı yumruyu temsil eder ve bitki çiçeklenip tohum oluşturduktan sonra, bitkinin diğer aksamıyla birlikte kuruyarak yaşam döngüsünü tamamlar. Daha açık renk tonuna sahip olan diğer yumru ise, bitkinin o yıl oluşan yeni yumrusudur ve bitkinin yaşamını sürdürmesini sağlar. Salepin doğal yollardan çoğalmasında da bu yumru kullanılır. Yaz aylarını toprak altında uyur halde geçiren yumru sonbaharda sürerek yeni bitkiyi meydana getirir. Bu şekilde her yıl sadece bir yumrunun meydana gelmesi salep orkidelerinin yumruları ile çoğaltılmasına izin vermemektedir (URL 1).

Türkiye'de 09.08.1983 tarihinde kabul edilerek Resmî Gazete'de yayımlanan 2872 sayılı Çevre Kanunu yürürlükte olup, bu kanunun 9/f maddesinde yer alan ifade şöyledir; "Biyolojik çeşitliliğin sürdürülebilirliğinin sağlanması bakımından nesli tehdit veya tehlike altında olanlar ile nadir bitki ve hayvan türlerinin korunması esas olup, mevzuata aykırı biçimde ticarete

konu edilmeleri yasaktır." Kanunun bu maddesi CITES sözleşmesine göre tüm Orchidaceae familyasına ait orkide türlerini içine almaktadır (Çalışkan 2019). Orchidaceae Familya bazında tüm türleri listeye ilk eklenen türler arasında olup CITES Ek I ve EK II listesinde yer almaktadır. CITES Ek I kapsamında ter alan türler her türlü ticareti yasak olan ve tropik bölgelerde yayılış yapan orkide türlerini kapsamaktadır. Ülkemizde doğal olarak bulunan ve yayılış yapan türler ise CITES Ek II listesinde yer almaktadır ve belge olmaksızın bir ülkeden diğer ülkeye kesinlikle ihraç edilemezler. Doğal çiçek soğanları yönetmeliği kapsamında her yıl Resmî Gazetede yayınlanan tebliğlere göre; Orchidaceae (salep) türlerinin yumru ve droglarının da (toz, tablet ve her türlü formda) ihracatı yasaktır. Son yıllarda dış ülkelerden de ülkemize salep yumruları getirilmektedir. Bunların kaçak veya dâhilde işleme rejimine göre ithal edildiği zannedilmektedir. Salep orkidelerinin üretimi konusunda çalışmalar yapılmasına rağmen, ticari anlamda henüz bir başarı sağlanamamıştır (Arslan 2012).

Salep yumruları, özellikle glikoman maddesi başta olmak üzere yüksek moleküler ağırlıklı çözünür polisakkaritler içermektedir. Bu bileşiklerin yalnızca kıvam artırıcı değil, aynı zamanda bağırsak mikrobiyotası üzerinde olumlu etkiler yaratan prebiyotik özelliklere sahip olduğu çeşitli çalışmalarla gösterilmiştir (Hossain 2011; Yaman 2013). Salebin bu fonksiyonel özelliği, gıda teknolojisinde geleneksel kullanımlarının ötesinde, fonksiyonel gıdaların formülasyonuna dahil edilmesine olanak tanımakta ve katma değerini artırmaktadır (Tekinşen ve Tekinşen 2005). Dolayısıyla, salep bitkisinin sadece aroma ve yapı verici değil, aynı zamanda sağlık destekleyici etkileri olan fonksiyonel bileşen taşıyıcısı olarak değerlendirilmesi, sürdürülebilir üretim ve yenilikçi ürün geliştirme açısından önem arz etmektedir.

2. SALEP (*Orchis spp.*) TÜRLERİNİN TANITIMI

Salep, Orchidaceae familyasına ait tüm orkide türlerinden değil, bu familya içerisindeki belirli bazı türlerden elde edilmektedir. (Şekil 1). Salepin tozu, Orkidaceae familyasına ait bazı türlerin barındırdığı açık sarı renkte, sert olan yumrularının çeşitli işlemlerden geçirildikten sonra kurutulup öğütülmesiyle üretilmektedir (Tekinşen ve Güner 2010). Bir adet kurutulmuş bir salep yumrusunun ağırlığı ortalama 0,25 ila 1,00 gram arasında değişmektedir. Bu değere bakıldığında, 1 kilogram salep tozu elde edebilmek

için yaklaşık olarak 1000 - 4000 adet orkide yumrusunun gerekli olduğu anlaşılmaktadır (Altaş vd. 2024). Salep üretiminde yaygınca kullanılan ve bilinen türler arasında *O. mascula*, *O. anatolica* ve *O. coriophora* yer almaktadır (Ekim vd. 2000). Bu 3 tür hem yüksek oranda glikoman içeriği hem de adaptasyon kabiliyetleri nedeniyle kültüre alınmaya en uygun orkide türleri arasında değerlendirilmektedir. Morfolojik olarak yumru kök sistemine sahip olan bu türler çoğunlukla nemli orman altı habitatlarda yetişir ve kireçli, gevşek yapılı toprakları tercih ederler (Aksoy ve Özçelik 2011). Salep orkidesi çok yıllık, yumrulu bir bitkidir ve tohumla çoğalması doğada oldukça yavaş ve zordur. Bu nedenle kültürel üretim çalışmaları, genellikle yumru çoğaltımı üzerinden yürütülmektedir (TÜBİTAK 2019). Salep bitki genel morfolojik görünümü Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Salep bitkisi genel görünüşü (Karık vd. 2020)

3. KASTAMONU'DA SALEP TÜRLERİNİN DOĞAL YAYILIŞ ALANLARI VE EKOLOJİK KOŞULLARI

Kastamonu'da salep türleri, özellikle Ilgaz ve Küre Dağları çevresinde, orman içi açıklık alanları ve nemli yamaçlarda yayılım göstermektedir (OGM 2022). 500–1500 m rakımlar arasında değişen bölgelerde yayılış gösteren türler, gölge-yarıgölge, nemli toprak ve düşük yoğunlukta rekabetçi bitki örtüsü gerektirir. Kastamonu ilinin genellikle kuzey kesimlerindeki nemli ve serin mikroklima, salep yetiştiriciliği için elverişli koşullar sunmaktadır. Kastamonu İli Merkez ilçede yıllık sıcaklık ortalaması 9,8 °C'dir. Merkez ilçede en soğuk geçen aylar ocak ve şubat; en sıcak geçen aylar ise temmuz ve ağustos aylarıdır. Kastamonu'da yağışın aylara dağılımı oldukça düzenli olup, kış dönemindeki yağışlar yıllık yağışın %18'ini, yaz yağışları ise %27'sini oluşturmaktadır. Yağışların büyük bölümü ise bahar aylarında düşmekte olup yıllık yağış ortalaması 449,7 mm'dir (Anonim 1).

Kastamonu ili Türkiye'nin kuzeyinde yer almakta olup Karadeniz bölgesinin Batı Karadeniz bölgesi içerisinde kalmakta (Şekil 2) ve Karadeniz geçit kuşağı ile İç Anadolu'nun kesiştiği noktada farklı habitatlara ev sahipliği yapmaktadır. Bundan dolayı bölgede iki farklı iklim tipini görmek mümkündür. İlin kuzeyinde Karadeniz iklimi egemenken güneyde ise İç Anadolu iklimi hâkim vaziyettedir. Bitki coğrafyası yönünden Avrupa-Sibiryâ fitocoğrafik bölgesinde bulunan Kastamonu, A4 karesinde yer almaktadır (Davis 1985; Ekim vd. 2000; Özhatay vd. 2013).



Şekil 2. Kastamonu'nun Türkiye haritası üzerinde gösterimi (Anonim 1)

4. TARIMSAL UYGULAMALAR VE KÜLTÜRE ALMA SÜRECİ

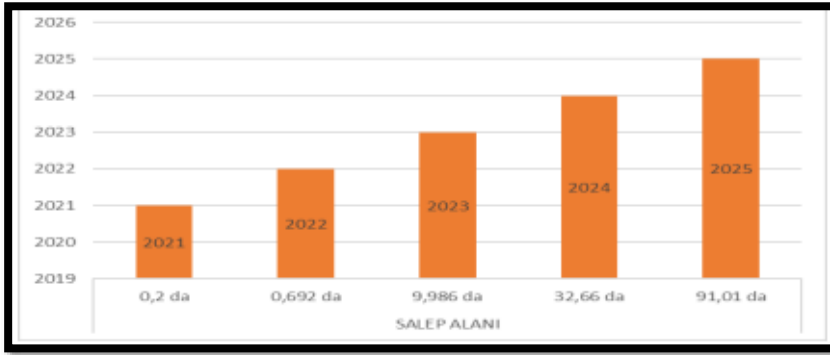
Salep orkidelerinin doğal yetiştirme ortamlarında iklim koşulları yanında toprak faktörleri de son derece önemlidir. Salep bitkisinin doğal yayılış gösterdiği alanlarda toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri genellikle hafif alkali, killi tınlı, kumlu bir yapıdadır. Kireç oranı ve azot yönünden düşük, yarayışlı fosfor yönünden zengin, değişebilir potasyumu ise yüksek düzeye yakın, yeter düzeyde topraklar oluşturmaktadır (Topcuoğlu vd. 1996). Türkiye genelinde salep bitkisinin doğal yayılış alanlarında özellikle kireç bakımından zengin topraklarda yetismekte olduğu görülmektedir (Baytop 1999).

Salep yetiştiriciliği için toprak hazırlığı, organik madde takviyesi, gölgeleme sistemlerinin kurulması ve su yönetimi önemlidir (TÜBİTAK 2019). Yumru ekimi sonbaharda yapılmakta, hasat ise türüne göre 2. veya 3. yılda ilkbaharda gerçekleştirilmektedir. Tarımsal üretim, doğadan toplama baskısını azaltmakta ve sürdürülebilir üretim açısından önemli bir alternatif oluşturmaktadır (Özhatay ve Koçyiğit 2015).

5. UYGULANAN PROJELER VE YEREL DESTEKLER

Kastamonu’da Tarım ve Orman İl Müdürlüğü ile iş birliği içinde salep üretimini teşvik eden çeşitli projeler yürütülmüştür (Gürlevik ve Sarıbaş 2020). Tarım ve Kırsal Kalkınmayı Destekleme Kurumu (TKDK) destekli kırsal kalkınma projeleri kapsamında üreticilere yumru, eğitim ve altyapı desteği sağlanmaktadır. Orman Genel Müdürlüğü’nün de izinli üretim sahaları oluşturduğu ve salep türlerinin doğadan kontrollü toplanmasına yönelik çalışmalar yürüttüğü bilinmektedir (OGM 2022). Ayrıca kadın üretici kooperatiflerinin sürece entegrasyonu da sağlanmaktadır.

Eğitim ve Yayın Dairesi Başkanlığı Yenilik Yayım Projeleri kapsamında 2024 yılında uygulanmaya başlanan “Doğadan Toplama Değil Tarlada Salep Yetiştiriciliği Yayım Projesi” 40’ar metrekare olacak şekilde toplam 160 metrekarelik demonstrasyon 2 adet Merkez ilçe, 1 adet İhsangazi ilçesi ve 1 adet Taşköprü ilçesi olmak üzere proje çalışmalarına uygulanmaya başlanmıştır (Şekil 2). (OGM 2022)



Şekil 2. Kastamonu İlinde yıllara göre yapılan salep dikimi (OGM 2022)

6. YEREL KALKINMA POTANSİYELİ

Salep bitkisi hem geleneksel tıpta hem de gıda sanayisinde uzun yıllardır yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak Türkiye genelinde doğal salep popülasyonlarının, kaçak yollardan bilinçsizce toplanması ve habitat kayıpları nedeniyle giderek azalmakta olduğu çeşitli literatürlerde verilmektedir (Baytop 1999). Kastamonu gibi zengin floristik çeşitliliğe sahip bölgelerde, bu azalma hem ekolojik hem de ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bu nedenle Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından “Tıbbi ve Aromatik Bitkilerde Sürdürülebilir

Tarım Uygulamaları” politikası çerçevesinde birçok ilde salep türlerinin kültüre alınması teşvik edilmektedir. Bu bağlamda Kastamonu’da 2020 yılından itibaren salep üretiminin tarımsal üretim sistemine entegre edilmesi amacıyla bir dizi uygulamalı proje yürütülmüştür. Salep, yüksek piyasa değeri sayesinde kırsal bölgelerdeki küçük aile işletmeleri için önemli bir gelir kaynağı haline gelmektedir. Özellikle yerel halkın sürece katılımı hem sosyal hem de ekonomik yönden yerel kalkınmayı desteklemektedir. Salep ürünlerinin işlenmesi, ambalajlanması ve coğrafi işaretli ürün haline getirilmesi, yerel markalaşma açısından büyük fırsatlar sunmaktadır (Gürlevik ve Sarıbaş 2020). Ayrıca doğa turizmiyle bütünleşik üretim modelleri de (Örneğin; ekoturizm alanlarında salep tanıtımı ve satışı) bölge kalkınmasına katkı sağlayabilir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kastamonu, sahip olduğu doğal salep türleri ve uygun ekolojik koşullarıyla kontrollü üretim açısından büyük bir avantaja sahiptir (Aksoy ve Özçelik 2011). Yıllardır milyonlarca orkide bitkisi, salep yumrusu elde etmek amacıyla doğadan bilinçsizce ve izinsiz bir şekilde koparılmaktadır. Bu izinsiz ve bilinçsiz toplanmalar sonucunda da biyoçeşitliliği önemli derecede tehdit eden bir unsur olarak yıllarca karşımıza çıkmaktadır. Ülkemizin bulunduğu coğrafi konumu ve barındırmış olduğu farklı ekolojik özelliklerinden dolayı zengin bir Orkidaceae familyasına sahiptir ve bunun korunmasına yönelik yetkililer tarafından tedbir alınması elzem bir durum oluşturmuştur.

Doğal popülasyonların korunması ve biyolojik çeşitliliğin sürdürülebilirliği için doğadan izinsiz ve yoğun yumru toplanmasının önüne geçilmelidir (Ekim vd. 2000). Bu nedenle tarımsal üretimin yaygınlaştırılması, üretici eğitimleri, pazarlama desteği ve mevzuatla desteklenen izinli üretim sistemleri büyük önem taşımaktadır (OGM 2022).

Ekoturizm, tabiat turizm, ziraat gibi farklı disiplinler ile alınacak önlemlerin halkın bilinçlenmesi ve doğal zenginliklerine sahip çıkması konusunda farkındalık oluşacağı öngörülmektedir. Ayrıca orkide bitkisinin laboratuvar ortamı gibi özel şartlar olmadan doğal ortam şartlarında bilinçli bir şekilde üretilmesi, satışının yapılması hem yöre şartlarına ek gelir getirmiş olacak, hem kaçak bir şekilde toplanmanın önüne geçilerek biyoçeşitlilik korunmuş olacaktır. Böylece türün neslini tehlikeye sokacak şartlar ortadan kalkmış olacaktır. Ayrıca, salep yumrularında kaliteyi ortaya koyacak olan

fiziksel ve kimyasal özelliklerin net bir şekilde ortaya konulması gerekmektedir.

Salep elde edilen orkide türleri içerisinde farklı yetiştirme ve üretme yöntemleri (generatif ve /veya vegetatif üretme) araştırılmalı ve farklı disiplinler ile (TKDK, KOSGEB, Sivil Toplum Kuruluşları, Yerel Eylem Grupları, Tarım İl/İlçe Müdürlükleri, Özel İdare vb.) iş birlikleri yapılmalıdır. Sürdürülebilirlik ilkesi doğrultusunda kültüre alınarak ya da doğal ortamında salep üretimi; doğal populasyonlar üzerindeki söküm baskısının azaltılması, kırsal bölgelerde ekonomik gelire ek gelir kapısı sağlanması, kooperatiflerin tarımsal salep üretimine katılması ve farklı ekolojik alanların değerlendirilmesi gibi avantajlar sağlamaktadır. Bu avantajların sağlanmasında denetimli ve bilinçli uygulama alanlarının artırılması, sertifikalı salep yumru üretim ve denetim merkezlerinin kurulması, kooperatiflerin ürün alım ve pazarlanması aşamasında desteklenmesi, üretim yapılan sahaların sistematik olarak belli aralıklarla izlenmesi ve akademi-uygulamalı iş birliklerinin daha da güçlendirilmesi büyük katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Aksoy, N. & Özçelik, H. (2011). Türkiye'nin tıbbi ve aromatik bitkileri. *Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları*.
- Altaş, A., Gursoy, O., Güler Dal, H. Ö., & Yılmaz, Y. (2024). Use of chia (*Salvia hispanica* L.) seed mucilage powder as a stabilizer in the preparation of salep beverage. *Food Science & Nutrition*, 1–13.
- Arslan, M. (2012). Ülkemizde CITES listesinde olan bitki türleri ve salep. In *Türkiye 2. Orkide ve Salep Çalıştayı* (25–26 Nisan 2012, İzmir). ETAE Yayın No: 153.
- Attri, L. K., Bhanwra, R. K., & Nayyar, H. (2020). Pollination induced embryology studies in *Aerides multiflora* (ROXB.). *International Journal of Botanical Studies*, 5(4), 211–215.
- Baytop, T. (1999). Türkiye'de bitkiler ile tedavi (2. baskı). *İstanbul Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayın No: 3255/40*.
- Bektaş, E., Cüce, M., & Sökmen, A. (2013). In vitro germination, protocorm formation, and plantlet development of *Orchis coriophora* (Orchidaceae), a naturally growing orchid species in Turkey. *Turkish Journal of Botany*, 37(2), 336–342.
- Bardajee, G. R., & Hooshyar, Z. (2017). Drug release study by a novel thermo sensitive nanogel based on salep modified graphene oxide. *Journal of Polymer Research*, 24, 1–8.
- Çalışkan, Ö. (2019). Tarihi kayıtlar ile geçmişten günümüze salep orkideleri. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*.
- Çalışkan, Ö., Kurt, D., Çırak, C. (2019). *Ophrys sphegodes* subsp. Kullanarak Yeni Sürdürülebilir Salep Üretim Yöntemlerinin Geliştirilmesi. *Tarım Bilimleri ve Teknolojisi Dergisi*, 21(6), 1547-1555.
- Çalışkan, Ö., Kurt, D., & Odabaşı, M. S. (2020). *Serapis vomeracea* (Burm.f.) Briq.'in tarımsal özellikleri, salep orkideleri. *Botanik Agrobotanik Bahçesi CLUJ-NAPOCA'nın Notları*, 48(1), 245–260.

- Çalışkan, Ö., Kurt, D., Çırak, C. (2021). Sahlep Orchid *Serapias orientalis* (Greuter) İçin Yeni Bir Sürdürülebilir Üretim Yönetimi. *Pakistan Botanik Dergisi*, 53(3), 1051-1056.
- Chen, Y., Kang, Q., Jiang, P., & Huang, X. (2021). Yüksek kaliteli bor nitrür nano tabakalarının hızlı, yüksek verimli ve ölçeklenebilir pul pul dökülmesi ve bunların lityum-kükürt pillerde uygulanması. *Nano Araştırma*, 14(7), 2424–2431.
- Davis, P. H. (Ed.). (1965–1985). *Flora of Turkey and the East Aegean Islands* (Vols. 1–9). Edinburgh University Press.
- Deniz, İ. G. (2013). Antalya ilinin kritik tehlike altındaki (CR) orkide türleri. In *XI. Uluslararası Çiçek Ampulleri ve Otsi Uzun Ömürlüler Sempozyumu* (s. 37–41).
- Endersby, J. (2016). *Orchid: A cultural history*. Royal Botanic Garden Kew.
- Ekim, T., Koyuncu, M., Vural, M., Duman, H., Aytaç, Z., & Adıgüzel, N. (2000). *Türkiye bitkileri kırmızı kitabı (Eğrelti ve tohumlu bitkiler)*. Türkiye Tabiatını Koruma Derneği & Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi.
- Erzurumlu, D. (2011). Türkiye’de salep orkideleri ve salep kültürü. *Journal of Agricultural Faculty of Harran University*, 15(1), 29–34.
- Ghorbani, A., Zarre, S., Gravendeel, B., & de Boer, H. J. (2014). Illegal wild collection and international trade of CITES-listed terrestrial orchid tubers in Iran. *Traffic Bulletin*, 26(2), 52–58.
- Güler, N., & Deniz, İ. G. (2012). Orchidaceae. In E. Özhatay, M. Byfield, & N. Atay (Eds.), *Türkiye bitkileri listesi (damarlı bitkiler)* (pp. 630–652). Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi.
- Gülşen, O. (2017). *Akdağmadeni salebin kültüre alınması projesi sonuç raporu*. Yozgat.
- Gezgin, Y., Eltem, R. (2009). Çeşitli Ege ve Akdeniz Orkidelerinden (Salepler) Endofitik Mantarların Çeşitliliği. *Türk Botanik Dergisi*, 439-445.

- Gürlevik, N., & Sarıbaş, M. (2020). Kastamonu’da odun dışı orman ürünlerinin değerlendirilmesi. *Orman Mühendisliği Dergisi*, 57(2), 45–58.
- Hossain, M. M. (2011). Therapeutic orchids: Traditional uses and recent advances, an overview. *Fitoterapia*, 82, 102–140.
- Jahromi, Z. K., Solhjoui, K., & Jahromi, H. K. (2015). The effect of salep root extract on concentration of GnRH, progesterone and LH hormone in female rats. *Avicenna Journal of Phytomedicine*, 5.
- Karık, Ü., Kösoğlu, İ., & Akaalp, H. (2020). *Salep yetiştiriciliği*. Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Tıbbi Bitkiler Şubesi.
- Karimi, N., & Kenari, R. E. (2016). Functionality of coatings with salep and basil seed gum for deep fried potato strips. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 93(2), 243–250.
- Kasperek, M., & Grimm, U. (1999). European trade in Turkish salep with special reference to Germany. *Economic Botany*, 53(4), 396–406.
- Kreutz, K.A.J. 2009. *Türkiye Orkideleri (Botanik Özellikleri, Ekolojik İstekleri, Doğal Yayılış Alanları, Yaşam Tehditleri, Koruma Önlemleri)*. s: 35-45, 79-81.
- Kreziou, A., De Boer, H., & Gravendeel, B. (2016). Harvesting of salep orchids in north-western Greece continues to threaten natural populations. *Oryx*, 50(3), 393–396.
- Kurt, D. (2020). Doğal ortama ekilen salep orkidesinin yıllara dayalı büyüme modellerinin geliştirilmesi. *Brezilya Biyoloji ve Teknoloji Arşivleri*, 63(2), 1–9.
- Molnár, V. A., Nagy, T., Lőki, V., Süveges, K., Takaçlar, A., Bodis, J., & Tökölyi, J. (2017). Turkish graveyards as refuges for orchids against tuber harvest. *Ecology and Evolution*, 7(24), 11257–11264.
- OGM (Orman Genel Müdürlüğü). (2022). *Odun dışı orman ürünleri faaliyet raporu*. Tarım ve Orman Bakanlığı Yayını.

- Özhatay, N., & Koçyiğit, M. (2015). Türkiye'de doğal yayılış gösteren orkide türlerinin korunması ve sürdürülebilir kullanımı. *Bitkisel Üretim Dergisi*, 2(1), 13–21.
- Özhatay, N., Kültür, Ş. ve Gürdal, B. (2013). Check-list of additional taxa to the supplement flora of Turkey VI. *Journal of Faculty of Pharmacy of Istanbul University*, 43(1): 33-83.
- Razavi, M., Nyamathulla, S., Karimian, H., & Noordin, M. I. (2014). Novel swellable polymer of Orchidaceae family for gastroretentive drug delivery of famotidine. *Drug Design, Development and Therapy*, 9(8), 1315–1329.
- Sandal, G., & Söğüt, Z. (2010). Türkiye orkideleri (salepler). *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 23(2), 109–116.
- Sezik, E. (1967). *Türkiyenin salepgilleri ticari salep çeşitleri ve özellikle Muğla salebi üzerinde araştırmalar*. İst. Üniv., Eczacılık Fak., Doktora Tezi, No. 34, İstanbul.
- Sezik, E. (1984). *Orkidelerimiz*. Sandoz Kültür Yayınları No: 6.
- Sezik, E., & Baykal, T. (1991). Maraş salebinin menşei. *Doğa-Turkish Journal of Pharmacy*, 1, 10-6
- Sezik, E (2002). *Türkiye'nin orkideleri ve salep*. *Acta Pharmaceutica Turcica*, 44, 151-157.
- Sezik, E., S. İşler, N. Güler, Ç. Orhan, M. Aybeke, İ.G. Deniz ve O. Üstün. 2007. Salep ve Orkidelerin Tahribi. *Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu Temel Birimler Araştırma Grubu, Proje No: TBAG-995*.
- Swarts, N. D., & Dixon, K. W. (2009). Terrestrial orchid conservation in the age of extinction. *Annals of Botany*, 104, 543–556.
- Tekinşen, O.C., ve Karacabey, A., (1984), Bazı Stabilizer Karışımlarının Kahramanmaraş Tipi Dondurmanın Fiziksel ve Organoleptik Nitelikleri Üzerine Etkisi. *TÜBİTAK Proje No: VHAG-594*, Ankara, 48 s.

- Tekinşen O.C. ve Tekinşen K.K (2005). "Süt ve süt Ürünleri: Temel Bilgiler, Teknoloji, Kalite kontrolü". *Selçuk Üniversitesi. Basımevi* Konya.
- Tekinşen, K. K., Uçar, G., & Köseoğlu, İ. E. (2006). Some Quality Characteristics of Animal Rennets. *Eurasian Journal of Veterinary Sciences*, 22(3), 69-73.
- Tekinşen, K. K., & Güner, A. (2010). Chemical composition and physicochemical properties of tubera salep produced from some Orchidaceae species. *Food Chemistry*, 121, 468–471.
- Topcuoğlu, B., Kasap, Y., Alpaslan, M., & Yalçın, R. (1996). Kahramanmaraş yöresinde doğal florada yetişen salep bitkisinin bazı bitki besin maddesi içerikleri ile salep bitkisinin yetiştirildiği toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 2(3), 7–10.
- T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı. (n.d.). *İklim ve bitki örtüsü – Kastamonu*. <https://kastamonu.ktb.gov.tr/TR-169990/iklim-ve-bitki-ortusu.html> (Erişim tarihi: 21.07.2025)
- TÜBİTAK. (2019). *Salep orkidesi yetiştiriciliği projesi sonuç raporu*. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu.
- Anonim 1. https://tr.wikipedia.org/wiki/Kastamonu%27nun_il%C3%A7eleri . Erişim tarihi: 01/07/2025.
- Usta Gorgun, B., & Yılmaz Ersan, L. (2020). Short-chain fatty acids production by *Bifidobacterium* species in the presence of salep. *Electronic Journal of Biotechnology*, 47, 29–35.
- Masters, S., Anthoos, B., Madesis, P., Saroja, S.G., Schermer, M., Gerritsen, W., Karahan, A., Verdoes, R., Schwalller, R., van Andel, T., de Boer, H., Gravendeel, B., (2022). Quantifying An Online Wildlife Trade Using a Web Crawl. *Biodiversity and Conservation*, 31:855-869.
- Warghat, A. R., Bajpai, P. K., Srivastava, R. B., Chaurasia, P., Chauhan, R. S., & Sood, H. (2014). In vitro protocorm development and mass

multiplication of an endangered orchid, *Dactylorhiza hatagirea*.
Turkish Journal of Botany, 38, 737–746.

Yaman, K. (2013). 1920’den günümüze T.C. Resmi Gazete arşivinde salep ve ticareti ile ilgili yasal düzenlemeler. *Tarih ve Sanat Araştırmaları Dergisi*, 2(1), 172-180.

BÖLÜM 10

BUĞDAYIN STRATEJİK ÖNEMİ: KÖKENİ, GELİŞİM SÜRECİ, YETİŞTİRME TEKNİKLERİ, KALİTE UNSURLARI, HASTALIK VE ISLAHI

Zir. Yük. Müh. İbrahim ÖZTÜRK¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17737733>

¹ Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bitkisel Üretim ve Teknolojileri Bölümü, Sivas, Türkiye.
ozturkibrahim6@gmail.com, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-8777-8418>

1. GİRİŞ

Buğday, günümüzde dünyada en geniş ekim alanına sahip tahıl ürünü olup, stratejik önemi nedeniyle tarımsal üretimde özel bir yere sahiptir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO 2024) verilerine göre yaklaşık 220 milyon hektar alanda ekilmekte ve yılda ortalama 798 milyon ton ürün elde edilmektedir. Bu durum, dünya toplam tahıl üretiminin yaklaşık %30'unun buğdaydan karşılandığını göstermektedir. Ancak üretim miktarı açısından buğday, mısır ve çeltiğin ardından üçüncü sırada yer almaktadır. Bunun temel nedeni, buğdayın genellikle kurak ve yarı kurak iklimlerde yetiştirilmesi ve verim potansiyelinin sınırlı olmasıdır (Curtis 2002).

Beslenme açısından temel bir gıda olan buğday geniş ekim alanı, farklı iklim ve toprak koşullarına uyum kabiliyeti ve gıda sanayisinde çok yönlü kullanım imkânı sayesinde küresel ölçekte stratejik bir ürün hâline gelmiştir (Shewry ve Hey 2015). Birçok ülke buğdayı yalnızca tarımsal bir ürün değil aynı zamanda ekonomik ve politik bir araç olarak görmekte ve üretimden dış ticarete kadar yakından takip etmektedir (Kaya ve Taner 2022).

Dünyada buğday üretiminde öne çıkan ülkeler arasında Çin, Hindistan, Avrupa Birliği Ülkeleri, Rusya, ABD, Kanada, Avustralya, Pakistan, Ukrayna, Türkiye ve Kazakistan bulunmaktadır (FAO 2024). Çin ve Hindistan yüksek üretim hacimlerine rağmen ürünün büyük kısmını iç tüketimde kullanmaktadır. Buna karşılık ABD, Rusya, Kanada, Avustralya ve Ukrayna büyük ölçekli üretim kapasiteleri sayesinde işlenmemiş buğday ihracatında ön plandadır. Türkiye ve Kazakistan ise özellikle un ihracatı ile öne çıkmakta ve bu alanda birbirleriyle rekabet etmektedir (Karagöz 2021; FAS USDA 2024).

Türkiye, 2024–2025 sezonunda yaklaşık 19 milyon ton buğday üretimiyle dünya sıralamasında 10. sırada yer almakta ve küresel üretimin %2,4'ünü karşılamaktadır (TÜİK 2023). Türkiye, kendi iç ihtiyacını büyük ölçüde karşılayabilmesinin yanında buğdayı işleyerek un şeklinde ihraç etmekte ve böylece katma değerli bir ticaret modeliyle küresel pazarda rekabet gücünü artırmaktadır (Kaya ve Taner 2022).

2. BUĞDAYIN KÖKENİ VE EVRİMSEL GELİŞİMİ

Günümüzde tarımı yapılan modern buğday türleri, başlıca iki genetik yapı altında toplanmaktadır: hekzaploid ekmeklik buğday (*Triticum aestivum*

L.; $2n=42$, AABBDD) ve tetraploid makarnalık buğday (*T. durum* Desf.; $2n=28$, AABB) (Feldman ve Millet 2001; Shewry 2009).

Modern buğdayın evriminde rol oynayan üç genomun kökeni yapılan genetik ve filogenetik çalışmalarla büyük oranda netleşmiştir. A genomunun kaynağı olarak *T. urartu* Thumanjan ex Gandilyan türü kabul edilmektedir (Dvořák vd. 1993). B genomu konusunda bazı tartışmalar bulunsu da yaygın görüş bu genomun *Aegilops speltoides* Tausch türünden geldiği yönündedir (Feldman 2001). D genomu ise, genetik açıdan açık biçimde *A. tauschii* Coss. türünden türemiştir (McFadden ve Sears 1946).

Bu üç genomun birleşimiyle oluşan tüm tetraploid ($2n=28$) ve hekzaploid ($2n=42$) buğday türlerinin, *T. urartu* ile *A. speltoides*'in doğal melezlenmesi sonucu ortaya çıkan yabani gernik (*T. dicoccoides* Körn. ex Asch. & Graebn. Schweinf.) türünden türediği bilinmektedir (Feldman ve Millet 2001; Salamini vd. 2002). Bu yabani buğday formu, evrimsel süreçte önce kültür gernik buğdayına (*T. dicoccon* (Schrank) Schübl.) dönüşmüş, ardından tetraploid türlere (örneğin *T. turgidum* L., *T. polonicum* L., *T. carthlicum* Nevski, *T. durum* Desf.) evrilmiştir. Bu süreçte, kromozom sayılarında poliploidi (katlanma) meydana gelmiştir. Nitekim sadece AA, BB ya da DD genomlarına sahip türler $2n=14$, AABB yapısında olanlar $2n=28$ ve AABBDD kromozom yapısına sahip olanlar $2n=42$ kromozoma sahiptir (Dubcovsky ve Dvořák 2007).

Bu şekilde evrilen tetraploid buğday türleri özellikle 1970'li yıllara kadar birçok ülkede yaygın olarak tarıma konu olmuştur. Örneğin *T. carthlicum* Nevski ve *T. polonicum* bu dönemde ekonomik öneme sahipti (Zohary ve Hopf 2000). Günümüzde yaygın olarak kullanılan ekmeklik buğday (*T. aestivum* L.), evrimsel olarak *T. dicoccoides* ile *A. tauschii* türlerinin doğal melezlenmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Bu melezlenme, buğdayın D genomunu kazanmasını ve böylece hekzaploid forma geçişini mümkün kılmıştır (McFadden ve Sears 1946; Salamini vd. 2002).

3. BUĞDAYIN BOTANİK YAPISI

Buğday (*Triticum* spp.), buğdaygiller (Poaceae) familyasına ait ve genellikle tek yıllık olarak yetiştirilen temel bir tahıl türüdür. Dünya genelinde en geniş ekim alanına sahip kültür bitkilerinden biri olup insan beslenmesinde ekmek, makarna, bulgur ve diğer unlu mamullerin hammaddesi olarak

kullanılmasının yanı sıra kepeği hayvan beslenmesinde değerlendirilir (Shewry ve Hey 2015).

Morfolojik açıdan buğday kök, gövde, yaprak, başak ve tane yapıları ile karakterizedir. Bitki ilk gelişme döneminde embriyodan köken alan seminal kökleri oluşturur, ardından gövde boğumlarından adventif (saçak) kökler gelişerek bitkinin topraktan su ve mineral alımını sağlar (Kirby ve Appleyard 1987). Gövde boğumlu ve içi boş silindirik yapıda olup uzayan internodlar bitkinin boyunu artırır ve başak gelişimini destekler (FAO 2022). Yapraklar kın ve ayadan oluşur, kın gövdeyi sararak destek sağlarken ayada fotosentez gerçekleşir. İki yapı arasındaki bağlantıda ligül ve kulakçıklar yer almakta yaprak damar sistemi ise paralel dizilim göstermektedir (Digital Herbarium of Crop Plants 2016).

Çiçeklenme başak formunda gerçekleşir. Başak ekseninde dizili başakçıklar dışta glum, içte lemma ve palea ile çevrelenmiş çiçekler içerir. Lodiküller çiçeğin açılmasını sağlamakta tozlaşma ise çoğunlukla kendine döllenme, kısmen de rüzgâr aracılığıyla gerçekleşmektedir (Şahin ve Anıl 2011). Döllenme sonrası oluşan meyve formu botanik olarak karyopsis (dane) olup üç temel bölümden meydana gelir: kepek (bran), endosperm ve embriyo. Kepek koruyucu tabaka görevini üstlenirken endosperm karbonhidrat ve protein deposudur. Embriyo ise yeni bitkinin genetik materyalini taşımaktadır (Bushuk 1998).

Dolayısıyla buğdayın botanik yapısı hem agronomik özellikler hem de beslenme ve endüstriyel kullanım açısından kritik öneme sahiptir. Bitkinin her bir organı, gelişim sürecinin farklı evrelerinde fizyolojik işlevleri yerine getirerek verim ve kalite unsurlarını doğrudan şekillendirir. Özellikle kök ve yaprak yapısı su ve besin alımını, başak ve dane morfolojisi ise ürünün nihai kullanım amacına uygunluğunu belirler. Bu nedenle botanik özelliklerin iyi bilinmesi, bitkinin çevreye uyumunun değerlendirilmesi açısından önemlidir.

4. BUĞDAYIN GELİŞİM SÜRECİ

Buğdayın gelişim süreci belirli fenolojik evreler halinde ilerlemekte olup bu evrelerin doğru tanımlanması tarımsal uygulamalar, verim tahmini ve kalite belirleme açısından kritik öneme sahiptir. Bitki gelişimini açıklamak üzere farklı sınıflandırmalar geliştirilmiş olup bunlar arasında özellikle Zadoks gelişim skalası yaygın olarak kullanılmakta ve buğday gelişiminde

önemli bir referans olarak kabul edilmektedir (Zadoks vd.1974; Kirby ve Appleyard 1987).

Çimlenme ve Fide Evresi: Tohumun uygun sıcaklık ve nem koşullarında su alarak şişmesiyle başlayan süreç radikulanın çıkışı ve koleoptilin toprak yüzeyine ulaşmasıyla tamamlanır. Bu evre ilerleyen büyüme dönemleri için temel oluşturur (Akkaya 2010).

Kardeşlenme Evresi: Çıkıştan sonraki 2–3 hafta içerisinde yan sürgünlerin oluşmasıyla başlar. Kardeşlenme potansiyel başak sayısını belirleyen en kritik aşamalardan olup ekim sıklığı ve azotlu gübre uygulamalarıyla doğrudan ilişkilidir (Kirby ve Appleyard 1987).

Sapa Kalkma Evresi: Gövde boğumları arasındaki uzamanın başladığı bu dönemde terminal başakçık oluşur ve üreme organları gelişir. Sapa kalkma başak oluşumu ve tane sayısı üzerinde belirleyicidir (Zadoks vd. 1974).

Başaklanma ve Çiçeklenme Evresi: Başak bayrak yaprak kılıfından çıkarak görünür hale gelir ve ardından çiçeklenme gerçekleşir. Bu dönem, tane sayısının belirlendiği ve bitkinin çevresel streslere en duyarlı olduğu ve verim potansiyelinin büyük ölçüde şekillendiği kritik bir aşamadır (Demir ve İkincikarakaya 2015).

Tane Dolum Evresi: Döllenmeden sonra başlayan bu evrede tanede nişasta ve protein birikimi gerçekleşir. Süt olum, sarı olum ve tam olum olmak üzere üç alt evreye ayrılır. Bu dönem hem verim hem de kalite parametrelerini belirler (Slafer ve Rawson 1994).

Fizyolojik Olgunluk ve Hasat Evresi: Tanenin gelişiminin tamamlanması ve nemin %12–14'e düşmesiyle bitki fizyolojik olgunluğa ulaşır. Bu aşamadan sonra ürün hasada hazırdır ve kalite kaybı yaşanmadan uygun zamanda hasat yapılmalıdır. (Akkaya 2010).

5. TÜRLER VE SINIFLANDIRMA

Buğday, dünya genelinde en önemli tahıllardan biri olup türlerine ve kullanım alanlarına göre farklılık göstermektedir. Temel türleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir (Zohary ve Hopf 2000; Feldman 2001; Shewry 2009).

Tablo 1. Buğday türleri ve kullanım alanları

Tür	Botanik Adı	Özellikleri	Kullanım
Makarnalık Buğday	<i>Triticum durum</i>	Sert, iri taneli, kehribar renkli, yüksek proteinli ve camsı yapılıdır.	Makarna, irmik, bulgur
Ekmeklik Buğday	<i>Triticum aestivum</i>	Daha küçük taneli, şekil ve renk açısından çeşitlilik gösteren, orta sertlikte ve daha gevşek yapılıdır.	Ekmek, unlu mamuller
Bisküvilik Buğday	<i>Triticum compactum</i>	Daha düşük proteinli, yumuşak yapılı ve un verimi yüksek çeşitlerdir.	Bisküvi, kek, organik ürünler

Makarnalık Buğday (*Triticum durum*); Makarnalık buğday taneleri ekmeklik buğdaya kıyasla daha iri ve uzun yapılıdır. Karın çizgisi derin, karın yanakları ise keskin hatlı ve düz görünümündedir. Tanelerin rengi genellikle kehribar olup yapı itibarıyla camsı özellik gösterir. Bu grupta tüycükler çok az ya da hiç bulunmaz. Ayrıca sırt kısımları ekmeklik buğdaylara oranla daha diktir (Akkaya 2010; Demir ve İkincikarakaya 2015).

Ekmeklik Buğday (*Triticum aestivum*); Ekmeklik buğdayın taneleri daha küçük olup şekil ve boyut açısından çeşitlilik arz eder. Yapıları makarnalık buğdaya göre daha gevşek ve sertliği daha düşüktür. Karın çizgisi genellikle daha yüzeysel olup yanakları bombeli veya düz olabilir. Tanelerin uç kısmında tüycükler bulunur ve sırt kısmı daha düz yapıdadır (Feldman 2001; Shewry 2009).

Makarnalık ve ekmeklik buğday çeşitlerinin doğru tanımlanması, üretimden depolamaya ve fiyatlandırmaya kadar tüm süreçler için kritik öneme sahiptir.

6. BUĞDAY YETİŞTİRME TEKNİĞİ

Buğday Türkiye’de tarımsal üretimde oldukça önemli bir yer tutan temel ve stratejik bir tahıldır. Ekim genellikle sonbahar aylarında yapılır ve bitkinin kış öncesi kardeşlenme evresine ulaşması, sağlıklı gelişim için kritiktir. Ekim zamanı bölgesel iklime bağlı olarak değişir; kurak ve sert iklimlerde Eylül-Ekim aylarında, ılıman ve sulanabilir alanlarda ise Ekim-Kasım aylarında gerçekleştirilir (Akkaya 2010; Kaya ve Akten 2017a).

Tohumlar mibzerle sıra usulü ekilir. Bir dekara ortalama 20 kg tohum (m^2 'ye yaklaşık 500–600 tohum) önerilir. Tohum ekim derinliği 4–6 cm, sıra aralığı 18 cm olmalıdır (Akkaya 2010).

Yarı kurak bölgelerde gübreleme stratejisi önemlidir. Ekimle birlikte DAP (18-46-0) veya 20-20-0 gübreleriyle dekara 4–6 kg saf N ve 6–8 kg P_2O_5 uygulanır. İlkbaharda sapa kalkma öncesinde üre, amonyum sülfat veya amonyum nitrat üst gübre olarak verilir (Sönmez ve Kaplan 2011). Türkiye topraklarının çoğunda görülen çinko (Zn) eksikliğini gidermek için dekara 1–2 kg Zn uygulanması önerilir; bu uygulama verimi %20'den fazla artırabilmektedir (Cakmak 2008).

Büyüme sezonu genellikle Ekim–Temmuz ayları arasındadır. Yağışların büyük bir kısmı kış ve ilkbahar aylarında gerçekleşir. Özellikle ilkbahar yağışlarının miktarı ve dağılımı verim açısından son derece belirleyici olmaktadır. Kurak geçen yıllarda ise sulama yapılabilen alanlarda uygulanan yağmurlama sulama, oluşabilecek verim kayıplarını önemli ölçüde önlemektedir (Öztürk 2015).

Yabancı ot kontrolü de verim ve kalite açısından son derece önemlidir. İlkbahar döneminde, bitki sapa kalkmadan önce geniş yapraklı otlara karşı uygun ve etkili bir herbisit kullanılmalı, uygulama ise doğru dozda ve homojen şekilde pülverizatörle yapılmalıdır (Kaya ve Akten 2017a).

Hasat buğday nem oranı %12–13'ün altına düştüğünde yapılmalıdır. Bu dönemde taneler kavuzdan kolayca ayrılır ve biçer-döverle hasat için en uygun zaman dilimi oluşur. Depolamaya alınacak ürünlerde nem oranı en fazla %10 olmalıdır, aksi halde kalite kayıpları meydana gelebilir (Akkaya 2010).

7. BUĞDAYDA KALİTE KRİTERLERİ

Buğdayın kalitesi fiziksel, kimyasal ve analitik özellikler temelinde değerlendirilir. Bu kriterler hem tarımsal üretimde hem de değirmencilik, gıda endüstrisi ve ticarete buğdayın değerini belirlemede kritik öneme sahiptir (Perten 1990; Kaya ve Akten 2017b).

7.1. Fiziksel Kalite Kriterleri

Hektolitre Ağırlığı: 100 l buğdayın kg cinsinden ağırlığının ifadesidir. Tane iriliği, şekli, yüzey pürüzlülüğü, rutubet oranı, zararlıların etkisi ve yabancı materyal (çöp, sap vb.) varlığı hektolitre ağırlığını etkiler. Değerin

yüksek olması aynı kül oranına sahip unda daha yüksek verim beklendiğini gösterir.

Bin Tane Ağırlığı; Bin adet buğday tanesinin gr cinsinden ağırlığıdır. Kuru madde üzerinden hesaplandığından rutubet, sonucu etkilemez. Bu değerin yüksek olması endosperm oranının ve dolayısıyla un veriminin fazla olduğu anlamına gelir.

Tane İriliği ve Şekli; İri taneler, küçük tanelere kıyasla yuvarlak taneler ise uzun tanelere kıyasla daha yüksek un verimi sağlar.

Tane Sertliği; Sert taneli buğdaylar kırma işleminde daha fazla su gerektirir. Bu durum değirmen işletmeleri açısından kârlılık sağlar. Ayrıca sert buğdaylarda gluten yapısı daha kuvvetlidir.

Buruşuk, Cılız ve Kırık Taneler; Un verimini olumsuz etkiler. Özellikle kırık tanelerdeki mikrobiyal yükün uzaklaştırılması zordur ve öğütüldüğünde undaki toplam mikrobiyal konsantrasyonu artırır. (Akkaya 2010).

7.2. Kimyasal Kalite Kriterleri

Rutubet Miktarı; Ekonomik değer ve depolama açısından en önemli faktörlerden biridir. Düşük rutubet güvenli depolama sağlar. Yüksek rutubet ise enzim aktivitesini ve mikrobiyal gelişimi artırarak buğdayın bozulmasını hızlandırır. Ayrıca solunumu artırarak kütle kaybına, ısınmaya ve kızılmaya yol açar.

Kül Miktarı; Mineral madde oranını ifade eder. Tane yüzeyine yaklaştıkça artış gösterir. Un sınıflandırılmasında önemli bir kriterdir.

Protein Miktarı; Kalitenin en önemli göstergelerindendir ve ülkemizde fiyatlandırmada temel kriterlerden biridir. Toprak azotu ve buğday çeşidi protein miktarını doğrudan etkiler (Erekul ve Köhn 2006).

7.3. Analitik Kalite Kriterleri

Yaş Öz (Gluten Miktarı); Gluten gliadin ve glutenin proteinlerinin tuzlu su ortamında oluşturduğu elastik yapıdır. Hamurun elastikiyeti gaz tutma kapasitesi ve ekmek hacmiyle doğrudan ilişkilidir.

Gluten İndeksi; Santrifüj yöntemiyle glutenin kalitesinin ölçülmesidir. Elekten geçmeyen gluten miktarının toplam glutene oranı olarak ifade edilir. Oranın yüksek olması glutenin daha kuvvetli olduğunu gösterir.

Sedimentasyon Testi; Unun laktik asit ve izopropil alkol çözeltisinde çalkalanmasıyla yapılır. Çökelti miktarı, glutenin dayanıklılığını gösterir. Yüksek çökme değeri güçlü gluten yapısına işaret eder.

Gecikmeli Sedimentasyon; Sedimentasyon testinden 1 saat sonra yapılan ölçümdür. Değerin düşmesi süne zararlısının proteolitik enzimlerle gluten yapısını bozduğunu gösterir.

Düşme Sayısı (Falling Number); Un-su karışımının sıcak su banyosunda çiriltirilmesiyle ölçülür. Karıştırıcının tabana inme süresi sn cinsinden ifade edilir. Düşük değer, yüksek enzim aktivitesine işaret eder.

Farinograf; Hamurun su kaldırma kapasitesini, yoğurma direncini ve stabilitesini ölçer. Su kaldırma oranı, gelişme süresi ve yumuşama derecesi gibi parametreleri ortaya koyar.

Ekstensograf; Belirli kıvamda hazırlanmış hamurun çekme dayanımı ve uzayabilirlik özelliklerini ölçer. Hamurun enerji kapasitesi hakkında bilgi verir.

Alveograf; Hamurun şişirilerek balon haline getirilmesiyle dayanıklılık ve elastikiyet ölçülür. Elde edilen eğri hamurun uzayabilirliği ve enerjisi hakkında veri sağlar (Perten 1990; Kaya ve Akten 2017b).

8. BUĞDAY HASTALIKLARI

Buğday, üretim sürecinde çoğu hastalıkla karşı karşıya kalmaktadır. Ülkemizde de farklı bölgelerde değişen ekolojik koşulların etkisiyle pek çok fungal hastalık gözlenmekte bunların bir kısmı sık rastlanması ve yüksek zarar oranlarıyla öne çıkmaktadır. Özellikle pas hastalıkları, rastık ve külleme gibi etmenler (Şekil 1) buğdayın verim ve kalite kayıplarına yol açan başlıca patojenlerdir (Roelfs vd. 1992; Eser ve Zencirci 2008).

Sarı pas hastalığı (*Puccinia striiformis f. sp. tritici*), özellikle serin ve nemli koşullarda yaygın olarak görülmekte olup yapraklarda sarıdan turuncuya değişen dar şeritler halinde püstüllerle karakterizedir. Bu püstüller genellikle yaprak ayasında bulunmakla birlikte yaprak kını, üst boğum arası ve kavuzlarda da görülebilir. Hastalık 10–20 °C sıcaklık aralığında hızlı bir şekilde gelişirken 25 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ürediospor üretimi azalır ve teliospor oluşumu başlar. Ilıman iklim bölgelerinde ve yüksek rakımlı alanlarda sıkça rastlanan bu hastalık, dane sayısı ve kalitesinde önemli kayıplara neden olabilmektedir (Chen 2005).

Kahverengi pas (*Puccinia triticina*), buğday yapraklarında ve kılçıklarda küçük, yuvarlak ya da oval kahverengi püstüller oluşturur. Rüzgârla taşınan ürediosporların neden olduğu ilk enfeksiyonlar yaklaşık 20 °C sıcaklık ve yüksek rutubet koşullarında hızla yayılır. Bitkinin olgunlaşmasıyla birlikte siyah teliosporlar gelişir. *Thalictrum*, *Isopyrum*, *Anemonella* ve *Anchusa* türleri hastalığın ara konukçuları arasında yer alır. Yoğun enfeksiyonlar dane sayısında azalma, bin tane ağırlığında düşüş ve kalite kaybına yol açarak ciddi ekonomik zararlar doğurabilir (Kolmer 2005).

Kara pas (*Puccinia graminis f. sp. tritici*), buğday yaprakları, sap ve başaklarda koyu kırmızımsı-kahverengi püstüller oluşturur. Epidermisi yırtarak dışarı çıkan ürediosporlar, bitki yüzeyine pürüzlü ve parçalanmış bir görünüm kazandırır. Hastalık, 20 °C civarındaki nemli koşullarda hızlı bir şekilde yayılır ve her 10–15 günde yeni bir ürediospor nesli meydana getirir. *Berberis* ve *Mahonia* türleri hastalığın ara konukçuları olup uygun çevresel koşullar altında kara pas tüm ürün kaybına yol açabilecek derecede tehlikeli olabilir (Singh vd. 2015).

Rastık hastalıkları (*Tilletia* türleri), buğdayın çiçek organlarını enfekte ederek başaklarda siyah teliospor kitleleri oluşturur. Bu sporlar kolayca rüzgârla taşınır ve çevreye yayılır. Etmen, dane içerisinde dormant halde bulunur ve çimlenme ile bitki gelişimine paralel olarak enfeksiyon sürecini sürdürür. Çiçeklenme döneminde ise tüm çiçek organları siyah spor kitleleriyle kaplanır. Hastalık serin ve nemli koşullarda daha hızlı gelişir. Rastık, genellikle düşük oranlarda kayıplara yol açsa da uygun koşullarda %30'a varan ürün kaybı oluşturabilmektedir (Matanguihan vd. 2011).

Külleme (*Blumeria graminis f. sp. tritici*), yaprakların üst yüzeyinde gri-beyaz renkte, tozlu bir görünüme sahip misel tabakalarıyla karakterizedir. Bu yapılar parmakla silinebilecek kadar gevşek olup zamanla sarımsı-gri bir renk alır. Şiddetli enfeksiyonlarda yaprak dokusu tamamen kuruyarak ölebilir. Hastalık özellikle serin, bulutlu ve yüksek nemli koşullarda (15–22 °C sıcaklık ve %75–100 nispi nem) hızla gelişir. Buğdayın yanı sıra arpa, yulaf ve çavdar gibi tahılları da etkileyen farklı ırklar bulunmaktadır. Başaklanma öncesinde görülen yoğun enfeksiyonlar, verim ve kalite üzerinde ciddi kayıplara neden olmaktadır (Eyal vd. 2004).

Sonuç olarak buğdayda pas hastalıkları, rastık ve külleme, üretim açısından en önemli tehditler arasında yer almaktadır. Bu hastalıkların ortaya

çıkışında çevresel koşullar büyük rol oynamakta verim ve kalite kayıpları yıl ve bölgelere göre farklılık göstermektedir. Dolayısıyla hastalıkların biyolojisinin anlaşılması, konukçu-patojen ilişkilerinin incelenmesi ve uygun entegre mücadele stratejilerinin geliştirilmesi, sürdürülebilir buğday üretimi açısından kritik öneme sahiptir.



Şekil 1. Buğday hastalıkları (Sarı pas, Kahverengi pas, Kara pas, Rastık, Külleme)

9. BUĞDAY ISLAHI

Buğday, dünya genelinde stratejik bir gıda kaynağı olup hem beslenme güvenliği hem de tarımsal sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle buğday ıslahı verimliliğin artırılması, kalite özelliklerinin geliştirilmesi, hastalık ve zararlılara karşı dayanıklılığın artırılması ile çevresel stres faktörlerine uyumun sağlanmasını hedefleyen temel bir araştırma ve uygulama alanıdır (Allard 1999; Borlaug 2007).

9.1. Buğdayda Üreme Biyolojisi

Buğday başakları başak ekseninin boğumlarında karşılıklı olarak dizilen 10–30 başakçıktan oluşmaktadır. Başaklar kılçıklı veya kılçıksız olabilir. Kılçık, başakçıktaki iç kavuzun omurgasının uzantısı şeklinde gelişir. Her başakçıkta 1–5 arasında çiçek bulunur ve bu çiçekler başakçık eksenine karşılıklı olarak bağlanır. Ancak genellikle üst kısımlardaki bir veya birkaç çiçek kısırdır ve tane oluşturmaz.

Buğday çiçeği, iç kavuz ve kapçığın arasında üç erkek organ (anter) ve bir dişi organ (pistil) içerir. Anterler polen üretir. Buğday kendine döllen bir bitkidir. Çiçeklenme başağın bayrak yaprak kınından çıkışından birkaç gün sonra başlar. Önce ana sap üzerindeki başak çiçekleri açar, ardından kardeş

sürgünlerdeki çiçeklenme gerçekleşir. Çiçeklenme süreci, başağın orta kısmından başlayarak yukarıya ve aşağıya doğru ilerler.

Bir başakta tüm çiçeklenmenin tamamlanması birkaç gün sürer. Çiçeklenme esnasında kavuzlar açılır, anterler dışarı çıkar ve polenlerin bir kısmı çevreye saçılır. Bu sırada düşük oranda yabancı tozlanma meydana gelebilir. Normal koşullarda yabancı döllenme oranı %1'in altında olup bazı durumlarda %3–4 seviyelerine ulaşabilmektedir (Zohary ve Hopf 2000). Çevre koşullarının elverişsiz olduğu durumlarda kavuzlar açılmadan anterler çiçek içinde patlayarak polen salınımı gerçekleşir.

9.2. Buğdayda Islah Yöntemleri

Kendine döllen bir tür olan buğdayda uygulanan ıslah yöntemleri özünde kendine döllenmeye dayalı bitkilere uygulanan teknikleri içerir. Bu yöntemler arasında başlıca introdüksiyon, seleksiyon ve melezleme yer almaktadır.

9.2.1. İntrodüksiyon

İntrodüksiyon, ekonomik öneme sahip bitki çeşitlerinin bir bölgeden başka bir bölgeye taşınması işlemidir. Temel amacı farklı ekolojik koşullarda geliştirilmiş yüksek verimli, dayanıklı ve kaliteli çeşitlerin yerel koşullara adaptasyonunun sağlanmasıdır. Ayrıca ıslah programlarında kullanılacak genetik materyalin temin edilmesi de önemli bir hedeftir. Ancak bu yolla bitki hastalıkları ve zararlılarının taşınma riski bulunduğundan sıkı karantina önlemleri gereklidir (Fehr 1987).

9.2.2. Seleksiyon

Seleksiyon, belirli karakterleri taşıyan bitki veya bitki gruplarının, genetik çeşitlilik gösteren popülasyonlardan seçilmesine dayanır. Eşeyli üreyen bitkilerde seleksiyon ıslahı iki ana yöntemle yürütülür:

- **Toplu Seçme (Mass Seleksiyon):** Fenotipik olarak benzer bitkiler seçilir, birlikte hasat edilip harmanlanır. Yerel çeşitlerin geliştirilmesi, karışık tohumlukların saflaştırılması ve yeni çeşitlerin adaptasyonu amaçlanır. Ancak verim ve kalite gibi kantitatif özelliklerde farklılıklar görülebilir.
- **Saf Hat Seleksiyonu (Teksel Seçme):** Tek bitki seçimine dayanır. Seçilen homozigot bitkilerden elde edilen döller saf hat olarak

adlandırılır. Yeni genotip oluşturmaz; mevcut popülasyondaki en iyi genotipi ortaya çıkarır (Allard 1999).

9.2.3. Melezleme

Melezleme, farklı genetik karakterleri tek bir çeşitte toplamayı amaçlar. Bu yöntemle genetik varyasyon sağlanır. Başlıca melezleme şekilleri:

- **Tek melez:** $A \times B$
- **Çift melez:** $(A \times B) \times (C \times D)$
- **Üçlü melez:** $(A \times B) \times C$
- **Çoklu melez:** $(A \times B) \times (C \times D) \times E$
- **Geri melez:** $(A \times B) \times A$ veya B
- **Resiprokal melez:** $A \times B$ ve $B \times A$

9.2.3.1. Emaskülasyon

Melezleme programında anaç olarak kullanılacak başaklardan anterlerin pens yardımıyla uzaklaştırılması işlemidir. Başak, bayrak yaprak kınından yaklaşık 1 cm çıktığında yapılır. Anterler dikkatlice çıkarılır, ardından başak izolasyon zarfı ile korunur (Chaudhary 2001).

9.2.3.2. İzolasyon

Emaskülasyonu tamamlanan başaklar, yabancı polen girişini önlemek amacıyla izolasyon zarfıyla korunur. Zarf üzerine işlem bilgileri yazılır.

9.2.3.3. Tozlaştırma

Emaskülasyondan 2–3 gün sonra baba bitkiden alınan olgun başaklar kullanılarak tozlama yapılır. Polenler anaç başak üzerine dökülür, izolasyon zarfı kapatılır ve etiketlenir. Bu şekilde melezleme işlemi tamamlanır (Fehr,1987; Chaudhary 2001).

- **Melez Populasyonlarda soy kütüğü (pedigri) yöntemi**

Bu yöntem, her generasyonda uygulanan sistematik seleksiyon adımlarını kapsar. Tablo 2’de soy kütüğü yönteminin aşamaları özetlenmiştir.

Tablo 2. Melez popülasyonlarında soy kütüğü (pedigri) yöntemi

Generasyon	Uygulama / Süreç
Melezleme	İslah amaçlarına göre belirlenen ebeveynler melezlenir ($A \times B$).
F1	50–100 bitki yetiştirilir.
F2	2000–3000 bitki yetiştirilir. Seçilen tek bitkilerden her birine ait tohum ayrı zarflara koyulur.
F3 – F4	Üstün bitkilerden elde edilen başaklarla başak sırası yetiştirilir. Üstün sıralar tanımlanır, içlerinden en iyi 3–5 bitki seçilir. Fenotipik veriler kaydedilir, bitki ve sıra karakterleri takip edilir. F5’e kadar sıra içi ve sıralar arası seleksiyon devam eder.
F5	Generasyon sonunda 25–50 aile hasat edilir.
F6	Başak sırası aileleri yetiştirilir. Tip dışı sıralar atılır. Üniform sıralar sıra halinde hasat edilir. Elde edilen tohumlar deneysel hatlar olarak değerlendirilir.
F7	Deneysel hatlar, şahit çeşitlerle karşılaştırmalı olarak ön verim denemelerine alınır.
F8 – F10	Üstün hatlar, çok lokasyonlu verim denemelerinde test edilir. Tüm istenen özellikleri taşıyan hatlar bir ileri generasyona aktarılır.
F11	Şahit çeşitlerden üstün olan en iyi hat, çeşit adayı olarak belirlenir.

- **Melez popülasyonlarda yığın (bulk) yöntemi;**

Yığın (bulk) yöntemi, kendine döllen bitkilerde genetik varyasyonu koruyarak doğal seleksiyondan yararlanmayı hedefleyen klasik bir ıslah stratejisidir. Bu yöntemde, erken generasyonlarda popülasyonlar toplu şekilde yetiştirilir ve seleksiyon yapılmaksızın hasat edilir. Bu süreçte çevre koşullarına en iyi uyum sağlayan genotipler doğal seleksiyonla avantaj kazanır. Orta ve ileri generasyonlarda ise üstün fenotipik özelliklere sahip bireylerden tek başak seleksiyonu yapılarak istenen özellikler yoğunlaştırılır. Bu yaklaşım, özellikle stres koşullarının belirleyici olduğu ortamlarda dayanıklılık ve adaptasyon yeteneğinin artırılmasında etkili olmaktadır. Tablo 3’te, yığın yönteminin generasyonlara göre uygulama basamakları özetlenmiştir.

Tablo 3. Melez popülasyonlarında yığın (bulk) yöntemi

Generasyon	Uygulama / Süreç
Melezleme	İslah amaçlarına göre belirlenen ebeveynler melezlenir ($A \times B$).
F1	50–100 bitki yetiştirilir ve toplu olarak hasat edilir.
F2	2000–3000 bitki yetiştirilir. Tüm bitkilerin tohumları toplu hasat edilir.
F3 – F4	Önceki generasyondan toplu hasat edilen tohumlar standart parsellerde ekilir. Doğal seleksiyondan faydalanmak için biyotik ve abiyotik stres koşullarına maruz bırakılabilir.
F5	3000–5000 bitki seyrek ekilir. Bunlardan 300–500 üstün bitkiden tek başak seçilir.
F6	Seçilen tek başaklar ayrı ayrı sıraya ekilir. İstenen özelliklere sahip 30–50 başak sırası seçilir ve ayrı ayrı hasat edilir.
F7	F6'dan seçilen sıralar küçük parsellerde test edilir.
F8 – F10	Ön verim, verim ve bölge verim denemeleri yapılır. Üstün deneme hatları şahit çeşitlerle karşılaştırılır. Çok lokasyonlu denemelerle performansları test edilir. İstenen özelliklere sahip hatlar bir sonraki generasyona aktarılır.
F11	Şahit çeşitlerden üstün olan en iyi hat, çeşit adayı olarak belirlenir.

- **Melez popülasyonlarda değiştirilmiş yığın (Modifiye Bulk) yöntemi:**

- **Modifiye edilmiş pedigri-bulk seleksiyon yöntemi:**

Modifiye edilmiş pedigri-bulk yöntemi, pedigri ve yığın yöntemlerinin avantajlarını birleştirerek hem erken generasyonlarda fenotipik seleksiyon yapılmasına hem de ilerleyen aşamalarda doğal seleksiyonlardan yararlanılmasına olanak tanır. Bu yaklaşım sayesinde agronomik performansı yüksek, hastalıklara dayanıklı ve çevre koşullarına iyi uyum sağlayan hatlar geliştirilebilir. Ayrıca genetik varyasyonun korunması ve hedeflenen özelliklerin popülasyonda yoğunlaştırılması açısından etkili bir yöntemdir. Tablo 4'te, modifiye edilmiş pedigri-bulk seleksiyon yönteminin generasyonlara göre uygulama basamakları ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Tablo 4. Melez popülasyonlarında modifiye edilmiş pedigri-bulk seleksiyon yöntemi

Generasyon Uygulama / Süreç	
Melezleme	İslah amaçlarına göre belirlenen ebeveynler melezlenir (A × B).
F1	50–100 bitki yetiştirilir ve toplu olarak hasat edilir .
F2	2000–3000 bitki yetiştirilir. Tek bitkiler agronomic tipine, hastalıklara dayanıklılık ve dane iriliğine göre seçilir.
F3 – F5	F2'den seçilen tek bitkilerden elde edilen tohumlar, ticari ekim normunda (3 sıra × 2 m) ekilir. Hat içi rekabet kabiliyeti gözlenir. Parseller agronomik özelliklere göre değerlendirilir. Her seçilen parselden 10–15 başak seçilir ve bulk edilerek sonraki generasyona aktarılır.
F6	Seçilen parsellerden 5–10 başak ayrı ayrı danelenir .
F7	F6'dan seçilen başaklar başak sıraları halinde ekilir. Uygun bulunan sıralar bulk hasat edilir .
F8 – F10	Ön verim, verim ve bölge verim denemeleri yapılır. Üstün hatlar şahit çeşitlerle karşılaştırılır ve çok lokasyonda test edilir . İstenen özelliklere sahip hatlar sonraki generasyonlara aktarılır.
F11	Şahit çeşitlerden üstün olan en iyi hat, çeşit adayı olarak belirlenir.

-Seçilmiş bulk seleksiyon yöntemi:

Seçilmiş-yığın(bulk) seleksiyon yöntemi, klasik yığın yönteminden farklı olarak her generasyonda belirli özelliklere göre yapılan bilinçli seçimlerle genetik ilerlemeyi hızlandıran bir ıslah stratejisidir. Erken dönemlerde agronomik tip, hastalıklara direnci ve dane iriliği gibi kriterlere göre seçilen başaklar topluca harmanlanarak sonraki generasyona aktarılır. Bu yaklaşım hem doğal seleksiyonun etkisinden yararlanılmasını yararlanılmasını sağlar hem de istenilen özelliklerin popülasyonda yoğunlaşmasına katkıda bulunur. Tablo 5'te, yöntemin generasyonlara göre uygulama basamakları özetlenmiştir.

Tablo 5. Melez popülasyonlarında seçilmiş-bulk seleksiyon yöntemi

Generasyon Uygulama / Süreç	
Melezleme	İslah amaçlarına göre belirlenen ebeveynler melezlenir ($A \times B$).
F1	50–100 bitki yetiştirilir ve toplu olarak hasat edilir .
F2	2000–3000 bitki seyrek ekilerek yetiştirilir. Agronomik tip, hastalıklara dayanıklılık ve dane iriliğine göre 50–100 başak seçilir ve topluca harmanlanır .
F3 – F5	F2’de bulk edilen tohumlar ekilir. Parsellerde agronomik özelliklere göre 50–100 başak seçilir ve harmanlanarak bir sonraki generasyona aktarılır. Bu işlem F3–F5 boyunca tekrarlanır .
F5	Seçilen başaklar ayrı ayrı danelenir .
F6	F5’ten elde edilen tohumlar başak sırası olarak ekilir. Başak sıraları arasında seçim yapılır. Seçilen sıralar bulk hasat edilerek F7’ye aktarılır .
F7	Ön verim denemesi yapılır. F6’dan seçilen başak sıraları küçük parsellerde test edilir.
F8 – F10	Verim ve bölge verim denemeleri yapılır. Üstün hatlar şahit çeşitlerle karşılaştırılır, çok lokasyonda test edilir . İstenen özelliklere sahip hatlar bir sonraki generasyona aktarılır.
F11	Şahit çeşitlerden üstün olan en iyi hat, çeşit adayı olarak belirlenir.

- **Tek tohum nesli yöntemi (single- seed-descent):**

Erken generasyonlarda her bitkiden yalnızca bir tohumun seçilip sonraki nesle aktarılması esasına dayanan hızlı ve etkili bir ıslah yöntemidir. Bu yaklaşım, genetik varyasyonun korunmasını sağlar ve seleksiyonun ileri generasyonlara bırakılmasına imkân tanıyarak popülasyon içerisindeki genetik çeşitlilik uzun süre muhafaza edilip daha etkin bir seleksiyon yürütülür. Tablo 6’da yöntemin uygulama basamakları özetlenmiştir.

Tablo 6. Melez popülasyonlarında tek tohum nesli (single-seed-descent) yöntemi

Generasyon Uygulama / Süreç	
Melezleme	İslah amaçlarına göre belirlenen ebeveynler melezlenir ($A \times B$).
F1	50–100 bitki yetiştirilir ve toplu olarak hasat edilir .
F2	2000–3000 bitki yetiştirilir. Her bitkiden tek tohum hasat edilir.
F3 – F4	Önceki generasyondan elde edilen tek tohumlar yetiştirilir. Her bitkiden yine tek tohum hasat edilir .
F5	F4'ten elde edilen tek tohumlar seyrek ekimle yetiştirilir. İslah amaçlarına göre üstün bitkiler seçilir .
F6	F5'ten elde edilen tohumlar başak sırası halinde ekilir. İstenen özellikleri taşıyan üstün sıralar hasat edilir.
F7	Ön verim denemesi F6'dan seçilen sıralar küçük parsellerde test edilir.
F8 – F10	Verim ve bölge verim denemeleri yapılır. Üstün hatlar, şahit çeşitlerle karşılaştırılır ve çok lokasyonda test edilir . İstenen özelliklere sahip hatlar sonraki generasyonlara aktarılır.
F11	Şahit çeşitlerden üstün olan en iyi hat, çeşit adayı olarak belirlenir.

9.2.4. Diğer İslah Yöntemleri

Bu yöntemlerin dışındabuğday ıslahında mutasyon ıslahı, poliploidi ıslahı, hibrit buğday ıslahı ve biyoteknolojik ve moleküler yöntemler de kullanılmaktadır. Bu yöntemler geleneksel seleksiyon ve melezleme tekniklerini destekleyerek daha hızlı ve hedef odaklı ıslah yapılmasını sağlamaktadır.

10. SONUÇ

Buğday dünya nüfusunun temel besin kaynağını oluşturan en stratejik tahıllardan biridir. Geniş adaptasyon yeteneği, farklı iklim ve toprak koşullarında yetiştirilebilmesi ve gıda sanayisindeki çok yönlü kullanımı bu bitkinin önemini artırmaktadır. Ancak artan nüfus iklim değişikliği ve doğal kaynakların sınırlılığı, birim alandan daha yüksek verim elde edilmesini zorunlu kılmaktadır.

Üretimi sınırlayan başlıca etmenler arasında biyotik (hastalıklar, zararlılar, yabancı otlar) ve abiyotik stres koşulları (kuraklık, sıcaklık, tuzluluk, düşük toprak verimliliği) yer almakta; özellikle kuraklık ve aşırı sıcaklar hem verim hem de kalite üzerinde olumsuz etki yapmaktadır. Bu

durum yüksek verim, yüksek kalite ve stres dayanıklılığının birlikte geliştirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Günümüzde ıslah çalışmaları yalnızca verim artışı değil protein oranı, gluten kalitesi ve endüstriyel işleme özelliklerinin iyileştirilmesine de odaklanmaktadır. Ayrıca hastalık ve zararlılara karşı dayanıklılık üretim sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahiptir. Islah süreci dinamik olup değişen çevre koşulları ve pazar taleplerine sürekli uyum gerektirir.

Modern ıslah teknolojileri bu alanda büyük fırsatlar sunmaktadır. Moleküler markörler, genomik seleksiyon, biyoinformatik analizler ve CRISPR gibi teknikler, yeni çeşit geliştirme süresini kısaltmakta ve birim alandan alınacak verimi artırmaya katkı sağlamaktadır.

Sonuç olarak buğdayda verimlilik, kalite ve dayanıklılığın artırılması yalnızca tarımsal üretimin değil küresel gıda güvenliğinin de teminatıdır. Gelecekte daha verimli ve dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi için bilimsel araştırmaların artırılması, yeni teknolojilerin etkin kullanılması ve ıslah çalışmalarının sürekliliğinin sağlanması büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Akkaya, A. (2010). *Buğday Tarımı*. Tarımsal Yayınlar, Ankara
- Allard, R. W. (1999). *Principles of Plant Breeding*. John Wiley & Sons, 2nd ed., New York.
- Borlaug, N. E. (2007). Sixty-two years of fighting hunger: personal recollections. *Euphytica*, 157(3), 287–297.
- Bushuk, W. (1998). Wheat breeding for end-product use. *Euphytica*, 100, 137–145.
- Chaudhary, B. D. (2001). *Introduction to Plant Breeding*. Oxford & IBH Publishing, New Delhi:
- Chen, X. M. (2005). Epidemiology and control of stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) on wheat. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 27(3), 314–337.
- Curtis, B. C. (2002). Wheat in the World. In B. C. Curtis, S. Rajaram & H. Gómez Macpherson (Eds.), *Bread Wheat: Improvement and Production* (pp. 1–18). FAO.
- Çakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*, 302(1–2), 1–17.
- Demir, B., ve İkincikarakaya, S. Ü. (2015). Buğdayda fenolojik dönemler ve verim unsurları arasındaki ilişkiler. *Tarla Bitkileri Dergisi*, 24(2), 45–52.
- Digital Herbarium of Crop Plants. (2016). *Wheat botanical description*. dhcrop.bsmrau.net
- Dubcovsky, J., & Dvořák, J. (2007). Genome plasticity: a key factor in the success of polyploid wheat under domestication. *Science*, 316(5833), 1862–1866.
- Dvořák, J., Luo, M. C., Yang, Z. L., & Zhang, H. B. (1993). The structure of the *Aegilops tauschii* genepool and the evolution of hexaploid wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 87(5), 772–779.
- Ereku, O., & Köhn, W. (2006). Effect of weather and soil conditions on yield components and bread-making quality of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and winter triticale (*Triticosecale* Wittmack). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 192(6), 452–464.
- Eser, V., & Zencirci, N. (2008). Buğdayda hastalık ve zararlılar. *Türkiye Ziraat Dergisi*, 12(3), 45–59.
- Eyal, Z., Scharen, A. L., Prescott, J. M., & van Ginkel, M. (2004). *The Septoria Diseases of Wheat: Concepts and Methods of Disease Management*. CIMMYT, Mexico.
- FAO (2024). *FAOSTAT – Crops and Livestock Products: Wheat*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/faostat>. Erişim Tarihi 28.08.2025.

- FAO (2022). *Wheat Production Guidelines*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAS USDA (2024). *Grain: World Markets and Trade – August 2024*. Foreign Agricultural Service, United States Department of Agriculture.
- Fehr, W. R. (1987). *Principles of Cultivar Development: Theory and Technique*. Macmillan Publishing Company, New York.
- Feldman, M. (2001). Origin of cultivated wheat. In A. P. Bonjean & W. J. Angus (Eds.), *The World Wheat Book: A History of Wheat Breeding*. Lavoisier Publishing, ss. 3-56, Paris.
- Feldman, M., & Millet, E. (2001). The contribution of the discovery of wild emmer to wheat research and breeding. *Israel Journal of Plant Sciences*, 49(Suppl 1), 25-36.
- Karagöz, A. (2021). Dünya buğday ticareti ve Türkiye'nin yeri. *Tarım Politikaları Dergisi*, 5(1), 30-44.
- Kaya, Y., ve Taner, S. (2022). Buğday ve stratejik önemi. *Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi*, 38(2), 85-98.
- Kaya, Y., & Akten, Ş. (2017a). Buğday tarımında modern yetiştirme teknikleri. *Tarla Bitkileri Araştırmaları Dergisi*, 26(2), 87-96.
- Kaya, Y., & Akten, Ş. (2017b). Buğdayda kalite kriterleri ve endüstriyel kullanım. *Tarla Bitkileri Araştırmaları Dergisi*, 26(1), 55-63.
- Kirby, E. J. M., & Appleyard, M. (1987). *Cereal Development Guide*. Agriculture and Advisory Service, UK.
- Kolmer, J. A. (2005). Tracking wheat rust on a continental scale. *Current Opinion in Plant Biology*, 8(4), 441-449.
- Matanguihan, J. B., Murphy, K. M., & Jones, S. S. (2011). Control of common bunt in organic wheat. *Plant Disease*, 95(2), 92-103.
- McFadden, E. S., & Sears, E. R. (1946). The origin of Triticum spelta and its free-threshing hexaploid relatives. *Journal of Heredity*, 37(3), 81-89.
- Öztürk, A. (2015). Türkiye'de buğday tarımında sulama teknikleri ve verim üzerine etkileri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 46(1), 45-52.
- Perten, H. (1990). Methods for quality assessment of wheat and flour. *Cereal Foods World*, 35(2), 401-404.
- Roelfs, A. P., Singh, R. P., & Saari, E. E. (1992). *Rust Diseases of Wheat: Concepts and Methods of Disease Management*. CIMMYT, Mexico.
- Salamini, F., Özkan, H., Brandolini, A., Schäfer-Pregl, R., & Martin, W. (2002). Genetics and geography of wild cereal domestication in the Near East. *Nature Reviews Genetics*, 3(6), 429-441.
- Shewry, P. R. (2009). Wheat. *Journal of Experimental Botany*, 60(6), 1537-1553.
- Shewry, P. R., & Hey, S. J. (2015). The contribution of wheat to human diet and health. *Food and Energy Security*, 4(3), 178-202.

- Singh, R. P., Hodson, D. P., Huerta-Espino, J., Jin, Y., Bhavani, S., Njau, P., ... & Ward, R. W. (2015). The emergence of Ug99 races of the stem rust fungus is a threat to world wheat production. *Annual Review of Phytopathology*, 53, 203–222.
- Slafer, G. A., & Rawson, H. M. (1994). Sensitivity of wheat phasic development to major environmental factors: A re-examination of some assumptions made by physiologists and modelers. *Australian Journal of Plant Physiology*, 21(4), 393–426.
- Sönmez, B., & Kaplan, M. (2011). Türkiye topraklarında gübreleme stratejileri ve verimlilik. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 30(2), 123–135.
- Şahin, M., & Anıl, G. (2011). Buğday bitkisinde çiçeklenme biyolojisi ve tozlanma. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 26(2), 45–52.
- TÜİK (2023). *Türkiye Tarımsal Üretim İstatistikleri*. Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara.
- Zadoks, J. C., Chang, T. T., & Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14(6), 415–421.
- Zohary, D., & Hopf, M. (2000). *Domestication of Plants in the Old World*. Oxford University Press, Oxford.

BÖLÜM 11

NANOGÜBRELERİN TARIMSAL ÜRETİMDEKİ YERİ VE POTANSİYELİ

Prof. Dr. Şebnem KUŞVURAN¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17737827>

¹ Çankırı Karatekin Üniversitesi, Gıda ve Tarım Meslek Yüksekokulu, Çankırı, Türkiye.skusvuran@gmail.com, Orcid ID: 0000-0002-1270-6962

1. GİRİŞ

Dünya nüfusundaki hızlı artış ve tarımsal üretim alanlarının sınırlı kalması, tarımsal üretimde daha verimli ve sürdürülebilir sistemlerinin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Geleneksel gübreleme yöntemleri, üretim artışına katkı sağlamakla birlikte, uygulanan gübrelerin yalnızca %20-50'si verimli bir şekilde kullanılmaktadır. Diğer %50-80 ve aşırı kullanımı ise uzun vadede toprak ve su kirliliği, biyolojik çeşitlilik kaybı ve sera gazı emisyonlarının yükselmesine yol açmaktadır (Kahru ve Dubourguier 2017; Avila-Quezada vd. 2022). Bu durum verimliliği artırırken çevre kirliliğini de önleyecek yeni gübreleme stratejilerini değerlendirmeyi gündeme getirmiştir (Solanki vd. 2015).

Sürdürülebilirlik, olumsuz çevresel etkilere yol açmayan, tarımsal üretimi ve kaliteyi garanti altına alan tarımsal uygulamaları içermektedir (Avila-Quezada vd. 2022). Sürdürülebilir tarım ve bitkisel üretim için nanobiyoteknoloji tabanlı uygulamalar son zamanlarda büyük ilgi görmektedir. Nanoteknoloji, biyolojik bilimler, fizik, kimya ve mühendislik gibi çeşitli alanları nano düzeyde birleştiren hızla gelişen çok disiplinli bir bilim dalıdır. Nanoteknoloji, gıda işleme endüstrisi, gıda mühendisliği, ambalaj malzemeleri ve ekipmanları gibi çok çeşitli alanlarda ve biyoteknoloji ve tarım sektöründe önemli bir rol oynamaktadır. Nano ölçekli parçacıklar (NSP'ler) olarak da bilinen nanopartiküller, boyutları 1-100 nm arasında değişen küçük moleküler yapılardır. Tarım sektöründe, nanopartiküller bitki büyümesini ve gelişimini destekleyen herbisitler, nanopestisitler ve nanogübreler gibi ürünlerde kullanılır. Özellikle nanogübreler, düşük miktarlarda kullanılarak gübre tasarrufu sağlarken, bitkiler tarafından daha kolay alınabilmekte, pestisit ve kimyasal gübre birikimleri nedeniyle toprakta oluşan toksisiteyi azaltmakta ayrıca, abiyotik ve biyotik stres koşullarında fizyolojik ve biyokimyasal mekanizmaları uyarak bitkilerin stres toleransını artırdığı rapor edilmektedir (Saxena vd. 2016; Prasad vd. 2017). Bunların yanı sıra son zamanlarda, nanosensörler, toprak ve sudaki kirliliğin çevresel izlenmesindeki güçlü ve hızlı özellikleri nedeniyle tarımda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu bölümün amacı, nanogübrelerin tarımsal üretimdeki rolünü inceleyerek, hem akademik araştırmalara hem de pratik uygulamalara ışık tutmaktır. Nanogübrelerin tanımı, sınıflandırılması, uygulama yöntemleri,

bitki gelişimi ve verim üzerindeki etkileri detaylandırılarak, bu teknolojinin tarım sektörüne sağlayabileceği katkılar bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirilmektedir. Ayrıca, avantajlarının yanı sıra sınırlamaları ve potansiyel risklerinin de ele alınmasıyla, nanogübrelerin sürdürülebilir tarım sistemlerinde güvenli ve etkin kullanımına yönelik bir perspektif sunulması hedeflenmektedir.

2. NANOĞÜBRELERİN TANIMI VE SINIFLANDIRILMASI

Nanogübreler, partikül boyutlarının nanometre (1–100 nm) olup bitkiler tarafından daha etkin şekilde alınabilen gübre formlarıdır. Nano boyut, besin elementlerinin daha geniş yüzey alanına sahip olmasını sağlayarak çözünürlüğü, taşınımı ve biyoyararlanımı artırmaktadır (Liu ve Lal 2015). Ayrıca nanogübreler, hedefe yönelik salınım özellikleri sayesinde geleneksel gübrelere oranla daha düşük miktarlarda kullanılmasına rağmen aynı ya da daha yüksek etkinlik sağlayabilmektedir (Prasad vd. 2017).

Nanopartiküllerin sentezi için (i) yukarıdan aşağıya ve (ii) aşağıdan yukarıya olmak üzere iki ana yaklaşım vardır. Yukarıdan aşağıya yaklaşımda, nanopartiküller bir kütlenin nano boyutlu partiküllere parçalanmasıyla hazırlanır. Aşağıdan yukarıya yaklaşımda, nanopartiküller atomlardan, moleküllerden ve daha küçük monomerlerden sentezlenir. Yeşil sentez, nanopartiküllerin sentezi için bitkiler, mantarlar ve bakteriler gibi biyo-organizmaları kullandığı, bu mikroorganizmaların hem indirgeyici hem de dengeleyici ajanlar olarak çalıştığı ve zararlı maddeler veya kimyasallar kullanılmadığı için toksik olmayan ve çevre dostu bir yöntemdir (Seleiman vd. 2020).

Nanogübreler, bitkilerin alabileceği ve ürün verimini artırabileceği nano boyutlu parçacıklar içerir. Tarımda potansiyel uygulamaları olan yeni bir teknolojinin ürünü olmalarına rağmen, sınıflandırmalarında farklılıklar bulunmaktadır. Nanogübreler, kullanılan malzeme veya boyut gibi farklı özellikleri bakımından sınıflandırılabilir. Bununla birlikte genel olarak değerlendirildiğinde her nanogübre türünün farklı özellikleri olup bitkiler üzerinde farklı etkiler ortaya koymaktadır (Yadav vd. 2023).

Bitki büyümesi ve gelişimi için besin gereksinimlerine göre nanogübreler genellikle üç türe ayrılır; bunlar esas olarak nano ölçekli

gübreler, nano ölçekli katkı maddeleri ve nano ölçekli kaplamalardır. Bunlar arasında nano ölçekli gübreler, besin içeren nano parçacıklardan oluşur. Bununla birlikte, nano ölçekli katkı maddesi içeren gübreler, nano ölçekli katkı maddeleri içeren geleneksel gübreler olarak tanımlanmaktadır. Nano ölçekli kaplama gübreleri ise, nano parçacıklarla kaplanmış veya yüklenmiş gübrelerdir. Nano ölçekli gübrelerin uygulanmasının önemli ölçüde ilgi gördüğü ve bu nedenle birçok nano bazlı gübrenin geliştirildiği ve endüstriyel ölçekte üretimlerinin de başladığı bilinmektedir (Avila-Quezada vd. 2022).

Organik ve inorganik nanomalzemelerden üretilen nanogübreler, kullanılan fiziksel veya kimyasal yöntemle bağlı olarak değişir. AgO, MgO, ZnO ve TiO₂ gibi metal oksitler inorganik nanomalzemeler iken lipitler, polimerler ve CNT'ler organik nanomalzemelerdir. Kitosan gibi biyolojik olarak parçalanabilen, doğal ve tarımsal olarak güvenli taşıyıcılar, polimerik nanogübreler adı verilen alternatif gübrelerde kullanılmaktadır (Zulfiqar vd. 201; Nongbet vd. 2022).

Nanogübreler besin kategorizasyonuna göre de sınıflandırılmaktadır. Dolayısıyla, klasik olarak iki tür nanogübre vardır: mikro besin nanogübreleri ve makro besin nanogübreleri. Ayrıca, nanobiyogübreler de ek bir yaklaşım olarak ortaya çıkmaktadır (Zulfiqar vd. 2019).

2.1. Makrobesin Nanogübreler

Azot (N), potasyum (K), fosfor (P), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) ve kükürt (S) gibi makro besin elementleri, ürünlere hassas miktarlarda besin iletimini sağlamak amacıyla nanomalzemelerle birleştirilmiştir. Makro besin bazlı nanogübreler, belirli nanomalzemeler içinde kapsüllenmiş bir veya birden fazla besin elementinden oluşur. Azot kaynağı olarak, üre modifiye zeolitler, hidroksiapatit ve mezogözenekli silika nanomalzemeleri, umut verici sonuçlar gösteren yavaş/kontrollü salınımlı nanogübreler rapor edilmiştir (Zulfiqar vd. 2019). Azot nanogübreleri, azot moleküllerini karbon nanotüpler, grafen ve metal oksitler gibi nanogübreler ile birleştirir. Bu gübreler, bitki gelişimi ve çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Azot bazlı nanogübreler azot kullanım verimliliğini artırarak ötrofikasyon riskini ve sera gazı emisyonlarını azaltır. Topraktaki kullanılabilir azot miktarını artırarak bitkilerin daha fazla besine erişmesini sağlar (Yadav vd. 2023). Bu gübrelerden toprağa kademeli olarak azot

salınımı, su sistemlerindeki azot miktarını azaltarak sızıntı ve yüzey akışından kaynaklanan çevresel hasar riskini azaltır. Fosfor, bitkilerin büyümesi ve gelişmesi için ihtiyaç duyduğu kritik elementlerden biridir. Fotosentezde, azot ve potasyum gibi diğer bitki besin elementlerinin alınımında etkilidir. Fosfor içeren nanogübreler, bitkilerin fosfor alımını kolaylaştırırken toprak ıslahında da etkili olduğu belirlenmiştir. Potasyum bazlı nanogübreler ise daha yüksek emilim oranları, sızmaya karşı direnç ve toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirme potansiyeli ile öne çıkmaktadır (Yadav vd. 2023). Bu gübreler mikroskobik boyuttaki parçacıklardan oluştuğundan, toprak profilinin daha derin katmanlarına nüfuz ederek doğrudan bitki köklerine ulaşabilmektedir. Bu özellikleri sayesinde, geleneksel gübrelere kıyasla daha yüksek emilim oranı göstermekte ve temel besin elementlerini bitkilere daha hızlı ve verimli bir biçimde iletmektedirler.

Özellikle nanopotasyum, sızmaya karşı daha dirençli olması ve suda daha yüksek çözünürlüğe sahip bulunması nedeniyle yağış veya sulama yoluyla yıkanmaya daha az duyarlıdır. Bu nitelikler, potasyum bazlı nanogübrelerin uzun süreli uygulamalarda daha yüksek ve sürdürülebilir ürün verimi elde edilmesinde kayda değer bir etkinlik göstermesini sağlamaktadır (Sheoran vd. 2021). Kalsiyum (Ca) bazlı nanogübreler, bitkisel üretimde verim ve kalite özelliklerini geliştirmekte ve bitkilerin hastalıklara karşı direncini artırmaktadır. Magnezyum (Mg) bazlı nanogübreler magnezyum oksit veya magnezyum sülfattan üretilmektedir. Mg nanogübreleri bitki büyüme ve gelişmesi, verim, kalite ile bitkilerin hastalık ve zararlılara karşı direncini artırmada etkili olmaktadır. Kükürt bazlı nanogübreler ise sürekli besin temini sağlayan yavaş salınımlı bir seçenek sunarken, aynı zamanda toprak asitlenmesi riskini en aza indirmektedir (Nongbet vd. 2022; Yadav vd. 2023).

2.2. Mikrobesein Nanogübreler

Mikrobeseinler, bitkilerin yalnızca eser miktarlarda ihtiyaç duyduğu, ancak metabolik süreçlerin sürekliliği açısından vazgeçilmez olan elementlerdir. Bu elementlerden biri olan çinko (Zn), bitki büyümesi için gerekli pek çok enzim ve proteinin yapısal bileşeni veya düzenleyici kofaktörü olarak işlev görmektedir; karbonhidrat sentezi, protein metabolizması, oksin düzenlenmesi ve patojenlere karşı savunma mekanizmalarında rol

üstlenmektedir (Noreen vd. 2018; Zulfiqar vd. 2019; Dhaliwal vd. 2022; Nongbet vd. 2022). Benzer şekilde, bor (B) yalnızca hücre duvarı biyosentezinde ve lignifikasyonda değil, aynı zamanda bitki büyümesi ve çeşitli fizyolojik süreçlerde de önemli bir rol oynamaktadır (Zulfiqar vd. 2019; Nongbet vd. 2022). Dolayısıyla, bitkisel üretimde yüksek kalite ve maksimum verim için Zn ve B'nin uygun miktarlarda uygulanması gereklidir. Son yıllarda yapılan araştırmalar, mikro besinlerin nanogübre formlarının geleneksel formlara kıyasla verimliliği artırdığını ortaya koymaktadır.

Nar (*Punica granatum* cv. Ardestani) bitkisinde gerçekleştirilen bir çalışmada farklı konsantrasyonlarda Zn ve B nanogübrelerinin yapraktan uygulanması meyve verimini %30 oranında yükseltmiştir (Shang vd. 2019, Nongbet vd. 2022). Benzer şekilde, *Pennisetum americanum* bitkisinde Zn nanoparçacıklarının uygulanması, tane veriminde %38 artış sağlanmış ayrıca sürgün ve kök uzunluğu, kök alanı, klorofil içeriği, protein içeriği ve kuru biyokütlede de önemli iyileşmeler sağlamıştır. Bununla birlikte, pirinç, mısır, buğday, patates, şeker kamışı ve ayçiçeği gibi birçok bitkide de Zn nanoparçacıklarının verim artışına katkıda bulunduğu rapor edilmiştir (Zulfiqar vd. 2019; Nongbet vd. 2022).

Diğer mikro besinlerden demir (Fe), fotosentez ve solunum gibi temel metabolik süreçlerde rol almakta olup bitkilerde çok düşük miktarlarda gereklidir. Eksikliği veya fazlalığı, fizyolojik işlevlerin bozulmasına ve ürün veriminin düşmesine neden olmaktadır (Palmqvist vd. 2017). Nitekim *Citrus maxima* üzerinde yapılan bir çalışmada, farklı konsantrasyonlarda uygulanan demir oksit nanoparçacıklarının kök tarafından alındığı, ancak gövdeye taşınmadığı gözlenmiş; 50 mg/L düzeyindeki uygulamanın klorofil içeriği ve kök aktivitesini sırasıyla %23 ve %24 artırdığı, 100 mg/L düzeyinin ise olumsuz etki yarattığı tespit edilmiştir. Bu durum, Fe nanoparçacıklarının etkisinin konsantrasyon bağımlı olduğunu göstermektedir (Zulfiqar vd. 2019). Ayrıca Yadav vd. (2023) demir nanogübrelerinin, bitkisel üretimde verimi artırdığını, demir eksikliği olan toprakların ıslahı ve sucul ortamlardaki su kalitesinin iyileştirilmesinde etkili olabileceğini ifade etmiştir.

Benzer şekilde, manganez (Mn) de çok sayıda enzimin kofaktörü olarak görev yapmakta, çevresel streslere karşı dayanıklılık sağlamakta ve fotosentez ile ATP, klorofil, yağ asitleri, proteinler, lignin ve flavonoidlerin biyosentezi için vazgeçilmez bir rol üstlenmektedir (Palmqvist vd. 2017). Mikro

besinlerin nanoparçacık formlarının etkilerinin incelendiği bir çalışmada, Cu, Zn, Mn ve Fe oksit nanoparçacıklarının (<50 mg/L) marul (*Lactuca sativa*) tohumlarının çimlenmesi üzerine etkileri değerlendirilmiş, CuO nanoparçacıklarının iyonik Cu'a göre daha toksik olduğunu, ZnO nanoparçacıklarının ise Zn iyonlarıyla benzer toksisite gösterdiğini ortaya koymuştur. Buna karşılık, MnO ve FeO nanoparçacıkları hem iyonik formlarına göre daha düşük toksisite sergilemiş hem de marul fidelerinin büyümesini %12–%54 arasında artırmıştır (Lu vd. 2016; Zulfıkar vd. 2019).

3. NANOĞÜBRELERİN UYGULAMA YÖNTEMLERİ

Nanomateryallerin (NM'ler) yüksek reaktivitesi, bitkilerde besinlerin daha etkin ve verimli bir şekilde emilimini sağlamaktadır. Bu özellik, aynı zamanda kullanım etkinliğini artırarak, geleneksel gübrelerle kıyasla besin kayıplarını en aza indirmektedir. Nanogübrelerin (NF'ler) emilim, taşınım ve birikim süreçlerindeki verimlilik; toprak pH'ı, organik madde içeriği ve toprak dokusu (Şekil 1) gibi çevresel faktörlerin yanı sıra, partikül boyutu ve kaplama özellikleri gibi nanomateryallerin yapısal niteliklerine de bağlıdır. NF'ler kökler ve yapraklar yoluyla bitkiye alınabildiğinden, bu durum onların biyoyararlanımını, emilim düzeyini ve bitki içi davranışlarını doğrudan etkilemektedir (Avila-Quezada vd. 2022). Yapılan birçok araştırma, NF'lerin klasik gübrelerle kıyasla daha yüksek etki sağladığını göstermektedir. Makro besin içeren NF'ler bitki gelişimini %19 oranında artırırken, mikro besin NF'leri %18 oranında daha yüksek etki gösterdiği rapor edilmiştir. Ayrıca, makro besin taşıyıcılarının NF formları, geleneksel gübrelerle karşılaştırıldığında bitki büyümesini %29 oranında iyileştirmiştir (Kah vd. 2018). Benzer şekilde, azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K) içeren nanokitosan bazlı NF'lerin buğdayda şeker içeriğini yükselttiği ve kalite özelliklerini geliştirdiği bildirilmiştir (Abdel-Aziz vd. 2016). Buğday üzerine yapılan bir diğer çalışmada, Salama (2012), gümüş nanopartikül uygulamasının sürgün ve kök uzunluğunu, yaprak alanını, klorofil, karbonhidrat ve protein içeriğini artırdığını rapor etmiştir. Ayrıca, NF'ler sayesinde besin maddeleri, geleneksel gübrelerde olduğu gibi 4–10 gün yerine, 40–50 gün boyunca yavaş salınımla bitkiye sunulabilmektedir. Bitkiler nanogübreleri yaprak, su ve toprak uygulaması yoluyla alabilirler.

taşınma, 3 ila 50 nm çapındaki plazmodezmaların seçici geçiş limitlerine (SEL) bağlı olarak gerçekleşir. Vasküler sisteme geçişte kaspari şeridi önemli bir engel oluşturur. Bazı araştırmalar, 50 nm'den daha büyük NP'lerin hücre duvarı, plazmodezma ve kaspari şeridinin SEL'lerini aşarak içselleştirilebileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, NP'lerin hücrelere giriş ve taşınması genellikle SEL ile ilişkilidir (Avila-Quezada vd. 2022).

Sprey biçiminde hedefe yönelik uygulamalar, bitki besleme yönetimini optimize ederek, bitki besinlerinin ihtiyaç duyulan zamanda ve miktarda verilmesine olanak sağlayarak maliyet ve gübre israfının önüne geçilmesinde etkilidir (Fageria vd. 2009). Yaprak spreyi yöntemi, özellikle toprak tarafından alımı güç olan çinko, demir ve manganez gibi mikro besin eksikliklerinin giderilmesinde etkili bir stratejidir. Nanogübreler sayesinde bu elementler yaprak dokularına hızlı ve verimli bir şekilde alınabilmektedir (Bindraban vd. 2020). Yapraktan uygulama (foliar spray), geleneksel toprak uygulamalarına kıyasla daha hızlı fizyolojik yanıt sağlaması, besin kullanım etkinliğini artırması ve sızıntı ile yüzey akışına bağlı kayıpları azaltması bakımından önemli avantajlar sunmaktadır (Hong vd. 2021). Yapılan çok sayıda araştırma, nanogübrelerin yapraktan uygulanmasının besin alımını belirgin ölçüde iyileştirdiğini, bitki büyümesini desteklediğini ve ürün verimini artırdığını ortaya koymuştur. Örneğin, CeO_2 ve karbon bazlı nanoparçacıkların yapraktan uygulanması buğdayda %36,6 (Rico vd. 2014) ve kudret narında %28 (Kole vd. 2013) oranında verim artışı sağlamıştır. Benzer şekilde, domates bitkilerinde yapraktan bakır nanoparçacığı uygulamasının, geleneksel bakır bazlı fungusitlere kıyasla gerekli bakır miktarını %30 oranında azaltırken meyve verimini %80 oranında yükselttiği bildirilmiştir (Ajiwe ve Popoola 2024).

Çiçeklenme ve meyve tutumu gibi kritik gelişim evrelerinde bitkilerin belirli besin maddelerine olan gereksinimleri arttığında, yaprak uygulamaları sayesinde bu ihtiyaçlar hızla karşılanabilmektedir. Nanogübreler, bu dönemde gerekli besinleri etkili bir şekilde sağlayarak kritik fizyolojik süreçlerin desteklenmesine katkıda bulunur (Dasgupta vd. 2017). Deo vd. (2022), %50 fosfor (P), %100 azot-potasyum (NK) ve kök daldırma uygulamasının kombinasyonunun; ekimden 20–25 gün sonra (DAT) ve 45–50 DAT'ta gerçekleştirilen iki yaprak nano-DAP püskürtmesi ile birlikte, besin kullanım verimliliğini ve kaliteyi artırdığını bildirmiştir. Poudel vd. (2023) tarafından

yapılan çalışmada ise, önerilen nano P dozunun %75'i ile birlikte %100 azot-potasyum (NK) uygulamasının, nano P'nin iki kez yapraktan uygulanması durumunda, DAP uygulamasına kıyasla gerekli fosfor miktarında %25 oranında azalma sağladığı belirlenmiştir.

3.2. Kökten Uygulama

NP'ler, kök epidermisinden geçerek ksileme ulaşır ve buradan bitkinin toprak üstü kısmına taşınır. NP'ler, 3 ila 8 nm arasındaki gözenekler aracılığıyla hücre duvarına girerler. NP'ler ayrıca kök ucu meristeminden veya kaspari şeridinde yaralar bulunduğundan yanıl kök oluşum noktalarından da girebilirler (Avila-Quezada vd. 2022, Mim vd. 2025). Mikro elementler bitkiye kök tüyleri aracılığıyla girer. Böylece, Ca, Mg, Fe, S veya Zn kapsüllenmiş mikro partiküller, kök salgılarındaki organik asitler veya fenoller tarafından çözülür. Besinleri doğrudan bitkinin kök sistemine ulaştırmanın pratik ve odaklanmış en etkin yöntemlerinden biri nanogübrelerin köklere uygulanmasıdır. Bu teknik, besin alımını artırarak, kayıpları azaltmakta ve kök sağlığını güçlendirerek verim ve kalitenin artışında etkili olmaktadır (Mim vd. 2025).

3.3. Toprak Uygulaması

Nanopartikül boyutundaki besin maddelerinin doğrudan toprağa uygulanarak bitki kök sistemiyle etkileşime girmesi, nanogübrelerin toprak uygulaması olarak tanımlanmaktadır. Bu yaklaşım, nanopartiküllerin özgün fizikokimyasal özelliklerinden yararlanarak tarımsal verimi artırmayı, besin kullanım etkinliğini yükseltmeyi ve besin iletimini iyileştirmeyi amaçlar (Dasgupta vd. 2017). Nanogübrelerin toprağa verilmesinde üç temel yöntem kullanılmaktadır; sulama suyuna karıştırılarak uygulanması, doğrudan toprağa homojen şekilde dağıtılması veya bitki kök bölgesine lokal olarak verilmesi (Juriga ve Šimanský 2018). Geleneksel gübrelerle kıyasla, nanogübreler toprakta daha yüksek hareketliliğe sahip olup bu özellik bitki besin maddelerinin kök sistemine ulaşmasını ve daha etkin bir şekilde emilmesini sağlar (Prasad vd.2014). Nano ölçekli parçacıkların geniş yüzey alanı, sahip oldukları küçük boyutları sayesinde toprak parçacıklarıyla daha fazla etkileşim kurulmasına olanak tanır ve bitki kökleri için bitki besin maddelerinin alınabilirliğini artırır, toprağın daha derin katmanlarına nüfuz

edebilmektedir. Derinlemesine nüfuz etme kapasiteleri, bitkilerin düşük besin içeriğine veya zayıf yapıya sahip topraklarda dahi gerekli besin maddelerine erişimini kolaylaştırarak kök gelişimini desteklemekte ve ürün verimliliğini artırmaktadır (Chhipa 2019; Mathur vd. 2022; Babu vd. 2022). Ayrıca birçok nanogübre, kademeli salınım mekanizmasına sahiptir. Böylece azot, fosfor ve potasyum gibi temel elementler bitkilere tek seferde yüklenmek yerine zaman içerisinde kontrollü bir şekilde sağlanır (Upadhyay vd. 2023). Bu kontrollü salınım, besinlerin yıkanma yoluyla kaybını önlerken bitkilerin sürekli olarak besin almasını destekler; dolayısıyla gübre kullanım miktarı azalır, maliyetler düşer ve çevresel etkiler minimize edilir (Abdalla vd. 2022). Nanogübreler toprağa uygulandığında öncelikle agregasyon eğilimi gösterir. Bu durum, etki alanının daralmasına neden olur ve gözenekli yapıdaki materyallerde agregaların boyutları büyüdükçe hareketlilikleri azalır. Dolayısıyla, topraktaki organik madde miktarı, çevresel koşullar ve nanogübrelerin kimyasal özellikleri, nanopartiküllerin hareketliliğini artırıcı ya da sınırlayıcı yönde etkiye bulunabilir (Nongbet vd. 2022). Nanogübreler toprak mikrobiyal aktivitesini teşvik ederek besin döngüsünün etkinliğini artırmakta, organik madde parçalanmasını hızlandırmakta ve genel toprak verimliliğinin iyileşmesine katkı sağlamaktadır (Mim vd. 2025).

4. NANOGÜBRELERİN BİTKİ GELİŞİMİ VE VERİM ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Araştırma bulguları, gübrelemede nanoteknoloji kullanımının, geleneksel formlara kıyasla bitki büyümesini, ürün verimini ve meyve kalitesini artırdığını ortaya koymaktadır. Her ne kadar mineraller, şelatlı formlar ve çeşitli organik gübre kaynakları ile farklı gübreleme yöntemleri mevcut olsa da, bu uygulamaların kullanım verimliliği genellikle %5'in altında kalmaktadır. Bu nedenle, gübreleme sırasında besin kayıplarını en aza indirmek ve aynı zamanda bitki gelişimi ile verimliliğini artırmak amacıyla, nanoteknolojiye dayalı çevre dostu ve yüksek etkinlik gösteren nanogübrelerin kullanımı tercih edilmektedir (Mim vd. 2025).

Bitkisel üretimde nanogübrelerin uygulanması, besin maddelerinin bitkiye iletimini artırarak daha sağlıklı bir gelişim sürecini teşvik etmekte ve verimde önemli artışlar sağlanmaktadır (Elemike vd. 2019). Nanogübrelerin küçük boyutları, yaprak ve kök gibi bitki dokularına daha kolay nüfuz

etmelerine olanak tanır. Yaprak uygulamalarında, besin elementleri kütikül tabakasını aşarak veya stomalar gibi mikroskobik gözenekler yoluyla bitkiye giriş yapabilir (Saraiva vd. 2023). Yeterli ve dengeli besin elementlerinin sağlanması verim ve kalitenin artışı sağlamakta, bitkilerin hastalık ve zararlılar ile abiyotik stres koşullarında toleransını artırmaktadır. (Kumar vd. 2023).

Nanogübreler genel olarak kademeli ve kontrollü salınım özelliğine sahip olacak şekilde tasarlanmakta, böylece, bitkilere besinler tek seferde yüklenmek yerine ihtiyaç duyulan zamanda ve miktarda sağlanmaktadır (Singh vd. 2023). Bu kontrollü besin sağlama mekanizması, daha iyi sürgün gelişimi ve daha güçlü kök sistemlerinin oluşumuna imkan vermektedir. Nanogübrelerin tohumda priming yönteminde kullanımı, erken çimlenmeyi hızlandırarak daha güçlü fide gelişimine katkıda bulunmaktadır (Adil vd. 2022). Bunun yanı sıra, çinko, demir ve manganezyum gibi mikro besin elementleri nanogübrelerde sıklıkla yer almakta ve bitkilerin doğal savunma mekanizmalarını güçlendirerek biyotik ve abiyotik stres koşullarına karşı toleransını artırmaktadır (Mim vd. 2025). Ramírez-Rodríguez vd. (2020) buğdayda gerçekleştirmiş oldukları çalışmalarında üre katkılı kalsiyum fosfat nanopartiküllerinin kalite ve verimde olumlu etki gösterdiklerini ayrıca nanopartiküllerinin azot emilimini artırdığını ifade etmişlerdir. Benzer şekilde nanogübre uygulamasının buğdayda verimi önemli ölçüde artırdığı, çeşitli kalite parametrelerinde iyileşme sağlandığı, tane veriminde yaklaşık %48,9'luk bir artış olduğu bildirilmiştir (Burhan ve Al-Hassan 2019).

Azot, fosfor ve potasyum (NPK) yüklü kitosan (CS) nanopartiküllerinin yaprak uygulamasının kumlu tınlı toprakta yetiştirilen patates bitkilerinin büyüme ve verim parametreleri, kimyasal bileşenleri ve besin içeriği üzerine etkisi incelenmiştir. Sonuçlar nanopartiküllerin floem dokuları tarafından alındığını ve taşındığını ortaya koymuştur. Çalışmada Nano CS-NPK seviyeleri (Nano 10, 50 ve 100%) ile yaprak uygulaması, kontrol uygulamasına kıyasla tüm büyüme ve verim parametrelerini, fotosentetik pigmentleri, hasatta patates yumrusunun kimyasal bileşenlerini ve patates yaprakları ile yumrularındaki makro besinleri önemli ölçüde artırmıştır. Bu açıdan en etkili uygulama, diğer iki seviyeyle karşılaştırıldığında %10 Nano CS-NPK olmuştur (Elshamy vd. 2019). Nanogübre kullanımının, gübre kullanımında tasarrufun sağlanması açısından da etkili olduğunu vurgulayan

Abd-Elrahman vd. (2023), çilekte bitki büyümesi, verimi ve kalitesi üzerinde K yüklü nano-kitosan'ın yaprak uygulaması ile K'nin geleneksel toprak uygulamalarının etkilerini karşılaştırmışlar, mineral K'nin önerilen dozunun %75'inin, 1000 veya 750 mg L⁻¹ nano-kitosan-K ile birlikte uygulanmasıyla, çilek verimi veya kalitesinden etkili sonuçlar alındığını bildirmişlerdir.

Nanopartiküller (NP'ler), bitkilerde abiyotik stres toleransını artırmakta ve boyut, tür, konsantrasyon ile maruz kalma süresi gibi faktörlere bağlı olarak bitkilerde büyüme ve gelişim üzerinde olumlu etkiler göstermektedir. Dolayısıyla, tarımda nanogübreler hem verimliliğin artırılmasında hem de çevre kirliliğinin azaltılmasında öncü bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır (Mim vd. 2025). Limonotu (*Cymbopogon citratus* L.)'nda abiyotik stres toleransında nano-ZnO uygulamalarının etkileri üzerine yapılan bir çalışmada, 50 ve 100 ppm dozları kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, 100 ppm nano-ZnO dozunun strese tolerans sağlanmasında daha etkili olduğu bulunmuştur (Hamid ve Nazmy 2020). Soya (*Glycine max* L.) bitkisinde farklı PEG (-0,5 ve -1 MPa) ve nano-ZnO (0, 0,5, 1 g L⁻¹) uygulamalarının çimlenme oranı, kök ve sürgün gelişimi, yaş ve kuru ağırlık gibi parametreler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Nano-ZnO uygulamalarının çimlenme oranı ve yüzdesinde belirgin bir artış sağladığı tespit edilmiştir (Sedghi vd. 2021).

Zahedi vd. (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kuraklık stresi altında SiO₂, Se ve Se/SiO₂ nanopartiküllerinin çilek bitkilerinin büyüme ve verim özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Araştırma bulgularına göre, bu nanopartiküllerin 50 ve 100 mg L⁻¹ konsantrasyonlarında uygulanmasının, normal ve kuraklık stres koşullarında (%30, %60 ve %100) yetiştirilen çilek bitkilerinin büyüme ve verim parametrelerinde olumlu etkiler sağladığı bildirilmiştir (Duran 2021). Kısıtlı sulama koşullarında yetiştirilen biberde nano-silisyum (NS) uygulamalarının morfolojik, fizyolojik ve verim üzerindeki etkisinin incelendiği bir çalışmada, özellikle kuraklık gibi abiyotik stres koşullarının etkili olduğu alanlarda, NS uygulamasının sürdürülebilir bir üretimin sağlanması açısından etkili olabileceği rapor edilmiştir (Kuşvuran ve Büyükdinç 2024). Farklı dozlarda NS uygulamalarının (NS₁: 0 mM, NS₂:1,0 mM, NS₃: 2,0 mM ve NS₄: 3,00 mM), tatlı sorgumda (*Sorghum bicolor* var. *saccharatum* (L.) Mohlenbr.) kuraklığa toleransı (K1: %100 sulama/SK/kontrol, K2:%75 sulama/SK, K3: %50 sulama/SK ve K4: %25 sulama/SK) üzerindeki etkilerinin incelendiği bir çalışmada, kuraklık

stresinin; incelenen özelliklerin tamamında %4 ile %66 arasında değişen oranlarda olumsuz etkilere neden olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, kuraklık stresi ile birlikte nSi uygulamalarında kontrol bitkilerine kıyasla; bitki boyunda %4-51, bitki yaş ağırlığında %15-122, bitki kuru ağırlığında %20-110, sap kalınlığında %2-15, yaprak ayası boyunda %3-21, yaprak eninde %2-18, yaprak sayısında %1-45 ve YOSİ değerinde %1-19 düzeyinde bir iyileşme sağlanmıştır (Alhfathee 2025).

Nanopartiküller biyolojik sistemlerde; çözültideki metal iyonların çözünmesi ile kimyasal etki, nanopartiküllerin yapısı nedeniyle mekanik etki, yüzey yapısı nedeniyle katalitik etki, proteinlere bağlanmasını sağlayan yüzey etkisi ve kimyasal ortamı (pH) değiştirme etkisi olmak üzere beş temel etki oluşturabilmektedir. Yakın zamanda yayınlanan birçok rapor, nanopartiküllerin bitkilerin oksidatif strese ve hücrel hasara yanıt olarak, antioksidatif savunma mekanizmasını harekete geçirdiği bildirilmektedir. Bu amaçla antioksidatif enzim aktiviteleri artırılırken bazı antioksidanlar da üretilmektedir (Sharma vd. 2012). Fatemi vd. (2022) ayçiçeğinde (*Helianthus annuus* L.) yapmış oldukları çalışmalarında, Mg nanopartiküllerinin kuraklık stresine tolerans üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Beş çeşit (Barzagar, Farokh, Ghasem ve Shams) ve 0,25 g L⁻¹ Mg NP yer aldığı çalışmada, dışsal Mg NP uygulaması kuraklık stresi altında yaprak oransal su içeriği, klorofil ve karotenoid içeriği, çözünür karbonhidrat içeriği ve anitoksidan enzim aktivitelerinde artış meydana gelmiştir. Ayrıca, Mg NP uygulaması, stres altındaki bitkilerde elektrolit sızıntısını ve malondialdehit içeriğini azaltmış, tane verimini ve yağ yüzdesini artırmıştır. Marulda MgO ve MgCO₃ nanoparçacıklarının kuraklık stresi üzerindeki etkilerini inceleyen Silva vd. (2023), nMgO ve nMgCO₃'ün fotosentezi modüle etme potansiyeline sahip olabileceğini, bitkileri su stresi altında pigment birikimini artırmaya yönlendirerek, fotosentezin fotokimyasal fazındaki olası bozulmaları önleyebileceği vurgulamışlardır. Nanoteknoloji, tarımsal üretimi iyileştirmek ve ağır metallere maruz kalma da dahil olmak üzere abiyotik strese karşı ürün toleransını artırmak için önemli bir potansiyel sağlamaktadır. Aloe vera özütü jel biyosentezli (AVGE) selenyum nanopartiküllerinin (Se NP'leri) pirinçte (*Oryza sativa* L.) kadmiyum (Cd) stresi üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmada, Se NP'lerinin bitki büyümesini artırma ve pirinçte Cd kaynaklı toksisiteyi en aza indirme konusundaki önemli potansiyeli vurgulamış,

domateste gerçekleştirilen başka bir çalışmada ise FeNPs Cd stresine tolerans üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada bitki büyüme parametrelerinde iyileşme sağlanırken likopen ve karotein içerisinde de artış belirlenmiştir (Shang vd. 2024).

Küresel ölçekte hastalık ve zararlılar nedeniyle tarımsal üretimde %20-40 oranında verim kaybı meydana gelmekte bu kayıpları azaltmak için her yıl milyonlarca ton pestisit kullanılmaktadır. Ancak bu durum çevre kirliliği, ekosistem bozulması, gıda ve yemlerde kalıntı toksisitesi, toprak verimliliğinde azalma ve zararlı organizmalarda direnç gelişimi gibi önemli sorunlara yol açmaktadır (Seleiman vd. 2020). Son yıllarda yapılan çalışmalar, nanopartiküllerin (NP'ler) ve nanogübelerin (NF'ler), bakteri veya mantar hücrelerine kolayca girerek onları parçalayabilmeleri sayesinde zararlı toprak ve bitki mikroorganizmalarının popülasyonlarını azaltma potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymuştur (Sotelo-Boyás vd. 2016). Nano-Cu uygulamaları mung fasulyesinde bakteriyel hastalıkları (*Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli*) ve pirinçte bakteriyel yanıklığı (*Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*) etkin biçimde kontrol ettiği belirlenmiş (Vigneshwaran vd. 2006, Seleiman vd.2020). Benzer şekilde, Tripathi vd. (Tripathi vd. 2017), Cu-Zn nanoparçacıkların *Saccharomyces cerevisiae* üzerinde etkili olduğunu bildirmiştir. Kitosan nanoparçacıkları, mikrobiyal hücre duvarlarına bağlanarak, membran stabilitesini bozarak veya DNA'ya bağlanarak replikasyonu durdurabilmekte; böylece mantar, bakteri ve hatta viral hastalıkların kontrolünde rol oynayabilmektedir (Seleiman vd. 2020). Saharan vd. (2013) çalışmasında %0,001–0,1 aralığındaki kitosan-Cu ve kitosan-saponin uygulamalarının, özellikle %0,1 konsantrasyonda, *Rhizoctonia solani* (%34), *Alternaria alternata* (%82) ve *Macrophomina phaseolina* (%87) türlerinin büyümesini önemli ölçüde baskıladığı gösterilmiştir. Ayrıca MgO nanoparçacıkları, *Ralstonia solanacearum*'un gelişimini azaltmıştır (Cai vd. 2018). Ramyadevi vd. (2012), Cu bazlı nanoparçacıkların *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus* ve *Candida albicans* gibi mantar türlerinin yanı sıra *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae* ve *Micrococcus luteus* gibi bakterilere karşı da güçlü antimikrobiyal etki gösterdiğini bildirmiştir. Benzer şekilde, Nawaz vd. (2011), ZnO nanoparçacıklarının *E. coli*, *Clostridium perfringens* ve *Bacillus subtilis* üzerinde etkili olduğunu ortaya koymuştur.

Seleiman vd. (2020) nanoparçacıkların ve/veya nanogübrelerin enfekte bitkilere uygulanması, fitopatojenik bakteri ve mantarların hücrelerine nüfuz ederek onların yapısal bütünlüğünü bozabilmesi sayesinde, zararlı toprak ve bitki mikroorganizmalarının popülasyonlarını azaltmada önemli bir potansiyele sahip olduğunu rapor etmişlerdir.

5. NANOĞÜBRELERİN AVANTAJLARI

Artan dünya nüfusu ve beslenme ihtiyacı bitkisel üretimde birim alandan elde edilen verimde artışı zorunlu hale getirmiştir. Kimyasal gübrelerin, ürün verimliliğini artırmak için vazgeçilmez olduğu düşünülmekte ve farklı yöntemlerle yaygın olarak kullanılmaktadır. Fazla gübre kullanımı toprak ve su kirliliğini beraberinde getirmektedir. Bununla birlikte toprağa uygulanan N, P ve K gibi temel makro besin elementlerinin sırasıyla %40-70, %80-90 ve %50-90 oranında kaybolduğu ve bunun da önemli bir kaynak kaybına neden olduğu bildirilmiştir (Zulfiqar vd. 2019). Fazla gübre kullanımı zaman içerisinde toprak verimliliğinde düşüşe ve tuz konsantrasyonlarında artışa yol açarak gelecekte ürün kayıplarına neden olabilmektedir. Bu nedenle, yalnızca bitkisel üretimi ve kalitesini artırmak için değil, aynı zamanda tarımsal üretimde sürdürülebilirliği geliştirmek için de yavaş/kontrollü salımlı gübrelerin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Günümüzde tarım sektörü, kimyasal gübrelere alternatifler kullanarak gıda güvenliğinde önemli bir verimlilik elde etme konusunda yoğun bir arayış içerisinde (Liu ve Lal 2015).

Küresel tarımsal üretimi ve talebinin ekonomik ve çevresel açıdan sürdürülebilir bir şekilde karşılanması için yeni yaklaşımlar ve teknolojiler gerekmektedir. En az bir boyutunda 100 nm'ye kadar parçacık boyutuna sahip olan malzemeler genellikle nanomalzemeler olarak sınıflandırılır ve nanoteknolojinin temelini oluşturur (Kah 2015; Kim vd. 2018). Tek veya çok duvarlı nanotüpler, manyetize demir nanopartikülleri, bakır (Cu), alüminyum (Al), gümüş (Ag), altın (Au), çinko (Zn) ve çinko oksit (ZnO), silika (Si), seryum oksit (Ce2O3) ve titanyum dioksit (TiO2) gibi çeşitli nanomalzeme türleri mevcuttur (Zulfiqar vd. 2019). Nanomalzemelerin yüksek yüzey-hacim oranı, hedeflenen bölgelere kontrollü salınım kinetiği ve sorpsiyon kapasitesi gibi özellikleri göz önüne alındığında, nanoteknoloji yeni gübrelerin tasarımı ve kullanımı için önemlidir (Feregrino-Perez vd. 2018). Nanogübreler,

bitkilerin besin gereksinimlerini karşılamak üzere bir veya daha fazla besin maddesinin kontrolü ve yavaş iletimi için nanomalzeme ile kapsüllenmiş/kaplanmış gübrelerdir (Zuverza-Mena vd. 2017).

Nanomalzemelerin yüksek reaktivitesi nedeniyle nanomalzemeler ve gübrelerin etkileşimi, bitkiler için besin elementlerinin ve temel bileşiklerin artan ve etkili bir şekilde emilmesini sağlar (Dimkpa ve Bindraban 2017). Nanogübrelerin verimliliği çeşitli faktörlere bağlıdır. Nanogübrelerin bitkilerde alımı, dağıtımı ve birikimi, hem içsel hem de dışsal faktörlere ve uygulama yöntemine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Parçacık boyutu ve yüzey kaplamaları, nanopartikül uygulamasının verimliliğini etkileyen en önemli içsel faktörler olup organik madde, toprak dokusu veya toprak pH'ı gibi dışsal faktörler nanogübrelerin performansı üzerinde etkilidir (Zulfiqar vd. 2019).

Nanogübrelerin geleneksel kimyasal gübrelere göre önemli avantajları, besin dağıtım sistemlerine dayanmaktadır (Liu ve Lal 2015). Yavaş/kontrollü salınım mekanizmaları aracılığıyla ürünlerdeki besin maddelerini düzenlerler. Besin elementleri, geleneksel gübrelerin 4-10 günlük süresi yerine 40-50 gün boyunca yavaş salınımlı bir şekilde salınabilir (Chen ve Wei 2018). Geleneksel gübreleme yöntemlerinde, uygulanan gübrenin yarısı süzülerek kaybolur veya aşırı kullanılabilirlik nedeniyle bitki tarafından kullanılamaz hale gelir; bu da köklerin alımını engeller veya bazen bitki üzerinde toksik etkilere neden olur. Ayrıca, nanogübreler nakliye ve uygulama maliyetlerini azaltır. Küçük miktarlarda kullanmanın bir diğer avantajı da, toprağın, geleneksel gübreler kullanılarak kısa veya uzun vadede aşırı uygulamaya bağlı olarak tuzlanması önlenmesidir.

Nanogübrelerin kullanılmasının bir diğer avantajı da, yetiştirilen ürünün besin gereksinimlerine göre sentezlenebilmeleridir. Bu bağlamda, biyosensörler, toprak besin durumuna, bitkinin büyüme dönemine veya çevresel koşullara göre besin maddelerinin iletimini kontrol eden yeni ve yenilikçi bir gübreye entegre edilebilir. Bitki büyüme ve gelişme dönemi, genel olarak bitki besin elementlerinin eksikliğine karşı hassas ve bitki besin element eksikliğinin daha fazla görüldüğü bir dönemdir. Geleneksel gübreleme yönetmelerinde belirli bir ürüne mikro besin elementi eksikliğini ve bitkideki dağılımını kontrol etmek oldukça zordur, ancak nanogübreler yetiştiricilere yeterli miktarda bitki besin elementi sağlama fırsatı sunar.

Örneğin, dünya çapındaki bahçe bitkileri yetiştirme alanlarının çoğu belirli mikro besinlerden (Zn ve Fe gibi) yoksundur, bu nedenle nanogübreler verim ve kaliteyi artırma yönünden oldukça etkilidir. Nanogübreler, yüksek özgül yüzey alanı, küçük boyutu ve yüksek reaktivitesi sayesinde besinlerin biyoyararlanımını artırır. Öte yandan, nanogübreler dengeli beslenme sağlayarak bitkinin çeşitli biyotik ve abiyotik streslerle mücadele etmesini sağlar ve genel olarak belirgin avantajlara sahiptir (Zulfiqar vd. 2019). Nanogübreler, su kirliliği ve sera gazı emisyonları gibi çevresel sorunların azaltılmasına katkı sağlamakta ve geleneksel gübrelerin yanlış veya aşırı kullanımına bağlı olarak ortaya çıkan tarımsal uygulamaların ekolojik ayak izini önemli ölçüde düşürmektedir. Bu durum, nanogübrelerin besin kayıplarını en aza indirmesi ve daha düşük miktarlarda uygulanabilmesiyle doğrudan ilişkilidir (Mim vd. 2025).

6. NANOGÜBRELERİN UYGULANMASINA İLİŞKİN SINIRLAMALAR VE POTANSİYEL RİSKLER

Olumlu bulgulara rağmen, nanogübrelerin tarımsal üretimde kullanımına ilişkin çeşitli sınırlamalar ve potansiyel riskler de rapor edilmiştir (Iqbal ve Mahmooduzzafar 2019). Yaprak yoluyla nanogübre uygulamaları, hızlı besin alımı ve etkinlik açısından avantajlar sunsa da geniş yaprak yüzeyi gerektirmesi, yüksek konsantrasyonlarda fitotoksiste (yanma ve kavrulma riski) oluşturabilmesi ve uygulamanın iklim koşullarına bağlı olması gibi kısıtlamalar barındırmaktadır (Achari ve Kowshik 2018). Ayrıca, nano formülasyonların standardizasyonu, partikül boyut homojenliği ve uygulama optimizasyonu hâlen çözüm bekleyen araştırma konularıdır (Yadav vd. 2023).

Sürdürülebilir tarım bağlamında nanogübreler, besin bulunabilirliğini artırma, kayıpları azaltma ve ürün verimini yükseltme potansiyeline sahip olsa da, bu teknolojinin tarımsal uygulamalara dahil edilmesi çevresel ve sağlık temelli bazı riskleri beraberinde getirebilmektedir. Nanomalzemelerin yüksek reaktivitesi ve küçük boyutları, farklı bitkilerde tür, doz ve uygulama yöntemine bağlı değişken fitotoksik etkilere yol açabilmektedir (Zulfiqar vd. 2019). Nitekim bazı çalışmalarda nanoparçacıkların bitki gelişimi üzerinde olumsuz etkiler oluşturduğu, bitki dokularında birikebildiği ve türlere göre farklı fizyolojik tepkiler ortaya çıkardığı bildirilmiştir (Ebbs vd. 2016). Ayrıca, nanogübre uygulamalarının yalnızca bitkilerde değil, uygulayıcı tarım

işçilerinde de potansiyel sağlık riskleri oluşturabileceği belirtilmektedir (Gopalakrishnan Nair 2018). Bu doğrultuda, nanomalzemelerin taşınması, biyoyararlanımı, çevresel dönüşümü ve farklı dokularda birikimi hakkında daha kapsamlı verilere ihtiyaç vardır. Özellikle nanogübrelerin iyonik formlara dönüşüp dönüşmediği, proteinlere ve metabolitlere dahil edilip edilmediği veya değişmeden kalıp besin zinciri yoluyla insanlara ulaşma olasılığı henüz netlik kazanmamıştır (Yadav vd. 2023). Bu belirsizlikler, gıda güvenliği ve insan sağlığı açısından ciddi endişelere yol açmaktadır. Dolayısıyla, nanogübrelerin tarımsal üretimde geniş ölçekli kullanımından önce, risk değerlendirmesi, toksikolojik testler ve yaşam döngüsü analizlerinin yapılması kritik önem taşımaktadır (Zulfiqar vd. 2019).

7. SONUÇ

Nanogübreler, tarım sektöründe verimliliğin artırılması, abiyotik streslere karşı direnç geliştirilmesi ve sürdürülebilir bir üretim açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Geleneksel gübrelere kıyasla kontrollü salınım, hedefli uygulama, daha hızlı bitki tepkisi, besin kayıplarının (sızıntı ve buharlaşma) azaltılması ve ürün kalitesinde iyileşme gibi avantajlar sunmaktadır. Bu özellikler, etkin bir bitkisel üretimin sağlanması aynı zamanda küresel gıda güvenliği açısından da umut vadetmektedir. Nitekim mevcut iklim değişikliği ve buna bağlı olarak bitkisel üretimin sınırlandırılması, nanogübrelerin tarımsal ürünlerin üretim kapasitesini artırmaya yönelik ilgiyi giderek artmaktadır. Bununla birlikte, nanogübrelerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması sürecinde dikkate alınması gereken zorluklar da mevcuttur. Öncelikle, nanomalzemelerin çevre ile etkileşimi ve insan sağlığı üzerindeki olası etkileri yeterince aydınlatılamamıştır. Nanoparçacıkların bitki dokularında birikimi, besin zinciri yoluyla insanlara geçiş ihtimali ve uzun vadeli toksikolojik riskleri halen araştırma konusudur. Ayrıca, nano formülasyonların standardizasyonu, salınım oranlarının optimize edilmesi, ölçeklenebilir ve düşük maliyetli üretim yöntemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu zorluklar, nanogübrelerin ticari ölçekte erişilebilirliğini ve uygulanabilirliğini sınırlamaktadır. Ayrıca farklı toprak özellikleri ve ürünler üzerindeki etkilerinin derinlemesine değerlendirilmesi ve biyosentezlenmiş nanoparçacık bazlı gübrelere potansiyellerinin de incelenmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, nanogübreler tarım sektöründe önemli bir yenilik olarak görülmekte; sürdürülebilir uygulamaları teşvik ederek hem ekolojik ayak izini azaltma hem de artan gıda talebini karşılama potansiyeli taşımaktadır. Ancak bu potansiyelin etkin kullanılabilmesi için, kapsamlı bilimsel araştırmalar, risk yönetimi, maliyet- üretim değerlendirmelerine ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKLAR

- Abdalla, Z. F., El-Sawy, S., El-Bassiony, A. E. M., Jun, H., Shedeed, S., Okasha, A. M., & Prokisch, J. (2022). Smart fertilizers vs. nano-fertilizers: A pictorial overview. *Environment, Biodiversity and Soil Security*, 6, 191-204.
- Abd-Elrahman, S. H., El-Gabry, Y. A. E. G., Hashem, F. A., Ibrahim, M. F., El-Hallous, E. I., Abbas, Z. K., & Taha, N. M. (2023). Influence of nano-chitosan loaded with potassium on potassium fractionation in sandy soil and strawberry productivity and quality. *Agronomy*, 13(4), 1126.
- Abdel-Aziz, H. M., Hasaneen, M. N., & Omer, A. M. (2016). Nano chitosan-NPK fertilizer enhances the growth and productivity of wheat plants grown in sandy soil. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 14(1), e0902-e0902.
- Achari, G. A., & Kowshik, M. (2018). Recent developments on nanotechnology in agriculture: plant mineral nutrition, health, and interactions with soil microflora. *Journal of agricultural and food chemistry*, 66(33), 8647-8661.
- Adil, M., Bashir, S., Bashir, S., Aslam, Z., Ahmad, N., Younas, T., & Elshikh, M. S. (2022). Zinc oxide nanoparticles improved chlorophyll contents, physical parameters, and wheat yield under salt stress. *Frontiers in Plant Science*, 13, 932861.
- Alhfathee, F.H. (2025). Nano silisyum (Nano-Si) uygulamasının tatlı sorgum (*Sorghum bicolor* var. *saccharatum* (L.) mohlendb.)'un kuraklığa toleransı üzerindeki etkisi. Çankırı Karatekin Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Üniversitesi, s. 45, Çankırı
- Ajiwe, S. T., & Popoola, A. R. (2024). Effect of copper nanoparticles on incidence and severity of fusarium wilt and fruit yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Nigerian Journal of Biotechnology*, 41(1), 88-96.
- Avila-Quezada, G. D., Ingle, A. P., Golińska, P., & Rai, M. (2022). Strategic applications of nano-fertilizers for sustainable agriculture: Benefits and bottlenecks. *Nanotechnology Reviews*, 11(1), 2123-2140.

- Babu, S., Singh, R., Yadav, D., Rathore, S. S., Raj, R., Avasthe, R., & Singh, V. K. (2022). Nanofertilizers for agricultural and environmental sustainability. *Chemosphere*, 292, 133451.
- Bindraban, P. S., Dimkpa, C. O., & Pandey, R. (2020). Exploring phosphorus fertilizers and fertilization strategies for improved human and environmental health. *Biology and Fertility of Soils*, 56(3), 299-317.
- Burhan, M. G., & Al-Hassan, S. A. (2019). Impact of Nano NPK fertilizers to correlation between productivity, quality and flag leaf of some bread wheat varieties. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 50.
- Cai, L., Chen, J., Liu, Z., Wang, H., Yang, H., & Ding, W. (2018). Magnesium oxide nanoparticles: effective agricultural antibacterial agent against *Ralstonia solanacearum*. *Frontiers in microbiology*, 9, 790.
- Chen, J., & Wei, X. (2018). Controlled-release fertilizers as a means to reduce nitrogen leaching and runoff in container-grown plant production. In D. Amanullah, S. Fahad (Ed.) *Nitrogen in agriculture-updates* (pp. 33-52). IntechOpen.
- Chhipa, H. (2019). Applications of nanotechnology in agriculture. In *Methods in microbiology* (Vol. 46, pp. 115-142). Academic Press.
- Dasgupta, N., Ranjan, S., & Ramalingam, C. (2017). Applications of nanotechnology in agriculture and water quality management. *Environmental Chemistry Letters*, 15(4), 591-605.
- Deo, H. R., Chandrakar, T., Srivastava, L. K., Nag, N. K., Singh, D. P., & Thakur, A. (2022). Effect of Nano-DAP on yield, nutrient uptake and nutrient use efficiency by rice under Bastar plateau. *Pharma Innov J*, 11(9), 1463-1465.
- Dhaliwal, S. S., Sharma, V., & Shukla, A. K. (2022). Impact of micronutrients in mitigation of abiotic stresses in soils and plants—A progressive step toward crop security and nutritional quality. *Advances in Agronomy*, 173, 1-78.
- Dimkpa, C. O., & Bindraban, P. S. (2017). Nanofertilizers: new products for the industry?. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(26), 6462-6473.
- Duran, C. N. (2021). Nano silikon dioksit uygulamasının *in vitro* koşullarda kuraklık stresine maruz bırakılan çilek bitkilerinin toleransı üzerine

- olan etkilerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya
- Ebbs, S. D., Bradfield, S. J., Kumar, P., White, J. C., Musante, C., & Ma, X. (2016). Accumulation of zinc, copper, or cerium in carrot (*Daucus carota*) exposed to metal oxide nanoparticles and metal ions. *Environmental Science: Nano*, 3(1), 114-126.
- Elemike, E. E., Uzoh, I. M., Onwudiwe, D. C., & Babalola, O. O. (2019). The role of nanotechnology in the fortification of plant nutrients and improvement of crop production. *Applied Sciences*, 9(3), 499.
- Elshamy, M. T., Husseiny, S. M., & Farroh, K. Y. (2019). Application of nano-chitosan NPK fertilizer on growth and productivity of potato plant. *Journal of Scientific Research in Science*, 36(1), 424-441.
- Fageria, N. K., Filho, M. B., Moreira, A., & Guimarães, C. M. (2009). Foliar fertilization of crop plants. *Journal of plant nutrition*, 32(6), 1044-1064.
- Feregino-Perez, A. A., Magaña-López, E., Guzmán, C., & Esquivel, K. (2018). A general overview of the benefits and possible negative effects of the nanotechnology in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 238, 126-137.
- Gopalakrishnan Nair, P. M. (2018). Toxicological impact of carbon nanomaterials on plants. In K. M. Gothandam, S. Ranjan, N. Dasgupta, C. Ramalingam, E. Lichtfouse (Ed.), *Nanotechnology, food security and water treatment* (pp. 163-183). Springer Cham.
- Hamid, A., & Nazmy, A. (2020). Alleviation of salinity stress through magnetic water and nano zinc and magnesium treatment of lemongrass plant (*Cymbopogon citratus* L.). *Arab Universities Journal of Agricultural Sciences*, 28(2), 485-503.
- Hong, J., Wang, C., Wagner, D. C., Gardea-Torresdey, J. L., He, F., & Rico, C. M. (2021). Foliar application of nanoparticles: mechanisms of absorption, transfer, and multiple impacts. *Environmental Science: Nano*, 8(5), 1196-1210.
- Iqbal, M., Umar, S., & Mahmooduzzafar, F. (2019). Nano-fertilization to enhance nutrient use efficiency and productivity of crop plants. In A. Husen, M. Iqbal (Ed.), *Nanomaterials and plant potential* (pp. 473-505). Cham: Springer International Publishing.

- Juriga, M., & Šimanský, V. (2018). Effect of biochar on soil structure—Review. *Acta Fytotech. Zootech*, 21, 11-19.
- Kah, M. (2015). Nanopesticides and nanofertilizers: emerging contaminants or opportunities for risk mitigation?. *Frontiers in Chemistry*, 3, 64.
- Kah, M., Kookana, R. S., Gogos, A., & Bucheli, T. D. (2018). A critical evaluation of nanopesticides and nanofertilizers against their conventional analogues. *Nature Nanotechnology*, 13(8), 677-684.
- Kahru, A., & Dubourguier, H. C. (2010). From ecotoxicology to nanoecotoxicology. *Toxicology*, 269(2-3), 105-119.
- Kim, D. Y., Kadam, A., Shinde, S., Saratale, R. G., Patra, J., & Ghodake, G. (2018). Recent developments in nanotechnology transforming the agricultural sector: a transition replete with opportunities. *Journal of The Science of Food and Agriculture*, 98(3), 849-864.
- Kole, C., Kole, P., Randunu, K. M., Choudhary, P., Podila, R., Ke, P. C., & Marcus, R. K. (2013). Nanobiotechnology can boost crop production and quality: first evidence from increased plant biomass, fruit yield and phytomedicine content in bitter melon (*Momordica charantia*). *BMC Biotechnology*, 13(1), 37.
- Kumar, M., Singh, Y. K., Maurya, S. K., Maurya, S. K., Maurya, D. K., Sachan, R., & Tiwari, A. (2023). Efficient use of nano-fertilizer for increasing productivity and profitability along with maintain sustainability in rice crop: a review. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13, 1358-1368.
- Kuşvuran, Ş. & Büyükdiñç Turan, D. (2024). *Kısıtlı sulama koşullarında yetiştirilen biberde nano-silisyum uygulamalarının etkisi*. International Congress of High Value-Added Agricultural Products.
- Liu, R., & Lal, R. (2015). Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Science of The Total Environment*, 514, 131-139.
- Lu, S., Feng, C., Gao, C., Wang, X., Xu, X., Bai, X., & Liu, M. (2016). Multifunctional environmental smart fertilizer based on L-aspartic acid for sustained nutrient release. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(24), 4965-4974.

- Mathur, S., Pareek, S., & Shrivastava, D. (2022). Nanofertilizers for development of sustainable agriculture. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 53(16), 1999-2016.
- Mim, J. J., Rahman, S. M., Khan, F., Paul, D., Sikder, S., Das, H. P., & Hossain, N. (2025). Towards smart agriculture through nano-fertilizer-A review. *Materials Today Sustainability*, 30, 101100.
- Nawaz, H. R., Solangi, B. A., Zehra, B., & Nadeem, U. (2011). Preparation of nano zinc oxide and its application in leather as a retanning and antibacterial agent. *Canadian Journal on Scientific and Industrial Research*, 2(4), 164-170.
- Nongbet, A., Mishra, A. K., Mohanta, Y. K., Mahanta, S., Ray, M. K., Khan, M., & Chakrabartty, I. (2022). Nanofertilizers: a smart and sustainable attribute to modern agriculture. *Plants*, 11(19), 2587.
- Noreen, S., Fatima, Z., Ahmad, S., Athar, H. U. R., & Ashraf, M. (2018). Foliar application of micronutrients in mitigating abiotic stress in crop plants. In *Plant nutrients and abiotic stress tolerance* (pp. 95-117). Singapore: Springer Singapore.
- Palmqvist, N. M., Seisenbaeva, G. A., Svedlindh, P., & Kessler, V. G. (2017). Maghemite nanoparticles acts as nanozymes, improving growth and abiotic stress tolerance in Brassica napus. *Nanoscale Research Letters*, 12(1), 631.
- Prasad, R., Bhattacharyya, A., & Nguyen, Q. D. (2017). Nanotechnology in sustainable agriculture: recent developments, challenges, and perspectives. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1014.
- Prasad, R., Kumar, V., & Prasad, K. S. (2014). Nanotechnology in sustainable agriculture: present concerns and future aspects. *African Journal of Biotechnology*, 13(6), 705-713.
- Priester, J. H., Ge, Y., Mielke, R. E., Horst, A. M., Moritz, S. C., Espinosa, K., & Holden, P. A. (2012). Soybean susceptibility to manufactured nanomaterials with evidence for food quality and soil fertility interruption. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(37), E2451-E2456.
- Poudel, A., Singh, S. K., Jiménez-Ballesta, R., Jatav, S. S., Patra, A., & Pandey, A. (2023). Effect of nano-phosphorus formulation on growth,

- yield and nutritional quality of wheat under semi-arid climate. *Agronomy*, 13(3), 768.
- Ramírez-Rodríguez, G. B., Miguel-Rojas, C., Montanha, G. S., Carmona, F. J., Dal Sasso, G., Sillero, J. C., & Delgado-López, J. M. (2020). Reducing nitrogen dosage in *Triticum durum* plants with urea-doped nanofertilizers. *Nanomaterials*, 10(6), 1043.
- Ramyadevi, J., Jeyasubramanian, K., Marikani, A., Rajakumar, G., & Rahuman, A. A. (2012). Synthesis and antimicrobial activity of copper nanoparticles. *Materials Letters*, 71, 114-116.
- Rico, C. M., Lee, S. C., Rubenecia, R., Mukherjee, A., Hong, J., Peralta-Videa, J. R., & Gardea-Torresdey, J. L. (2014). Cerium oxide nanoparticles impact yield and modify nutritional parameters in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(40), 9669-9675.
- Saharan, V., Mehrotra, A., Khatik, R., Rawal, P., Sharma, S. S., & Pal, A. (2013). Synthesis of chitosan based nanoparticles and their in vitro evaluation against phytopathogenic fungi. *International Journal of Biological Macromolecules*, 62, 677-683.
- Salama, H. M. (2012). Effects of silver nanoparticles in some crop plants, common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and corn (*Zea mays* L.). *International Research Journal of Biotechnology*, 3(10), 190-197.
- Saraiva, R., Ferreira, Q., Rodrigues, G. C., & Oliveira, M. (2023). Nanofertilizer use for adaptation and mitigation of the agriculture/Climate change dichotomy effects. *Climate*, 11(6), 129.
- Sedghi, M., Sheikhnava Jahed, P., & Gholi-Tolouie, S. (2021). Zinc oxide nano particles alleviate drought stress effects on soybean antioxidant system during germination. *Iran Journal Plant Physiology*, 11(4), 3769-78.
- Seleiman, M. F., Almutairi, K. F., Alotaibi, M., Shami, A., Alhammad, B. A., & Battaglia, M. L. (2020). Nano-fertilization as an emerging fertilization technique: why can modern agriculture benefit from its use?. *Plants*, 10(1), 2.
- Shang, Y., Hasan, M. K., Ahammed, G. J., Li, M., Yin, H., & Zhou, J. (2019). Applications of nanotechnology in plant growth and crop protection: a review. *Molecules*, 24(14), 2558.

- Shang, H., Li, C., Cai, Z., Hao, Y., Cao, Y., Jia, W., & Xing, B. (2024). Biosynthesized selenium nanoparticles as an effective tool to combat soil metal stresses in rice (*Oryza sativa* L.). *ACS Nano*, 18(30), 19636-19648.
- Sheoran, P., Goel, S., Boora, R., Kumari, S., Yashveer, S., & Grewal, S. (2021). Biogenic synthesis of potassium nanoparticles and their evaluation as a growth promoter in wheat. *Plant Gene*, 27, 100310.
- Singh, Y. K., Singh, B. V., Katiyar, D., Saikanth, D. R. K., Kumar, K., Singh, O., & Kumar, P. (2023). Efficacy of nano fertilizers on yield, attributes and economics of wheat. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(7), 291-297.
- Solanki, P., Bhargava, A., Chhipa, H., Jain, N., & Panwar, J. (2015). Nano-fertilizers and their smart delivery system. In *Nanotechnologies in food and agriculture* (pp. 81-101). Cham: Springer International Publishing.
- Sotelo-Boyás, M. E., Bautista-Baños, S., Correa-Pacheco, Z. N., Jiménez-Aparicio, A., & Sivakumar, D. (2016). Biological activity of chitosan nanoparticles against pathogenic fungi and bacteria. In *Chitosan in the preservation of agricultural commodities* (pp. 339-349). Academic Press.
- Tripathi, D. K., Singh, S., Singh, V. P., Prasad, S. M., Dubey, N. K., & Chauhan, D. K. (2017). Silicon nanoparticles more effectively alleviated UV-B stress than silicon in wheat (*Triticum aestivum*) seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 110, 70-81.
- Upadhyay, P. K., Singh, V. K., Rajanna, G. A., Dwivedi, B. S., Dey, A., Singh, R. K., & Rawat, S. (2023). Unveiling the combined effect of nano fertilizers and conventional fertilizers on crop productivity, profitability, and soil well-being. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1260178.
- Vigneshwaran, N., Kathe, A. A., Varadarajan, P. V., Nachane, R. P., & Balasubramanya, R. H. (2006). Biomimetics of silver nanoparticles by white rot fungus, *Phaenerochaete chrysosporium*. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 53(1), 55-59.
- Yadav, A., Yadav, K., & Abd-Elsalam, K. A. (2023). Nanofertilizers: types, delivery and advantages in agricultural sustainability. *Agrochemicals*, 2(2), 296-336.

- Zulfiqar, F., Navarro, M., Ashraf, M., Akram, N. A., & Munné-Bosch, S. (2019). Nanofertilizer use for sustainable agriculture: Advantages and limitations. *Plant Science*, 289, 110270.
- Zuverza-Mena, N., Martínez-Fernández, D., Du, W., Hernandez-Viezcas, J. A., Bonilla-Bird, N., López-Moreno, M. L., & Gardea-Torresdey, J. L. (2017). Exposure of engineered nanomaterials to plants: Insights into the physiological and biochemical responses-A review. *Plant Physiology and Biochemistry*, 110, 236-264.

BÖLÜM 12

BAKIR MADENİ SAHALARINDA REVEJETASYON ÇALIŞMALARININ BAZI BESİN ELEMENTLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Dr. Hüseyin Ali ERGÜL¹

Doç. Dr. İnci Sevinç KRAVKAZ KUŞCU²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17737958>

¹ Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği ABD, Kastamonu, Türkiye. efe_kentli_ali_35@hotmail.com, Orcid ID: 0000-0002-8469-7786

² Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Kastamonu, Türkiye. ikravkaz@kastamonu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-8519-4681

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ve sanayiinin en önemli bileşenlerinden birisi hammadde. Birçok sanayii alanında temel hammadde, yeraltındaki yataklarından çıkartılarak işlenen elementlerdir. Bu elementlerin çıkartılması işlemi ise madencilik faaliyetleri ile gerçekleştirilmektedir. Gelişen sanayiinin ihtiyaç duyduğu hammadde miktarındaki artış, maden üretimi ve maden işletmeciliğinin dünya genelinde hızla artmasına sebep olmaktadır (Makineci vd. 2011; Gao vd. 2021; Kuzmina vd. 2023).

Madencilik faaliyetlerinin yapıldığı alanlarda, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri önemli ölçüde etkilenmekte, toprağın yapısı büyük oranda değişmektedir. Bu süreç sonucunda toprak organik maddesi önemli ölçüde kaybolmakta ve bitki besin maddelerince oldukça fakir bir materyal oluşmaktadır (Ribeiro vd. 2021; Ma vd. 2021).

Madencilik faaliyetleri sonrasında, alanın restore edilerek tekrar doğaya kazandırılması büyük önem taşımaktadır. Maden alanlarının restorasyonunda en çok kullanılan ve en etkili yöntem bitkilendirmedir. Fakat bitki gelişiminde en önemli çevresel faktörlerden birisi edafik faktörlerdir. Toprağın fiziksel ve kimyasal yapısı bitki gelişimini şekillendiren en önemli faktörlerdendir (Kravkaz Kuşçu vd. 2018). Madencilik faaliyeti yürütülen sahalarda fiziksel, kimyasal ve biyolojik açıdan deforme olmuş toprak bitki gelişimini kısıtlamaktadır (Ahirwal ve Pandey 2021). Çünkü madencilik faaliyetleri sonucunda toprağın kimyasal yapısı ve dolayısıyla besin elementi içeriği önemli ölçüde değişebilmektedir. Bundan dolayı madencilik faaliyeti yürütülen alanlarda, toprağın besin elementi içeriğinin nasıl değiştiğinin belirlenerek yapılacak olan bitkilendirme işlemlerinde bu durumun göz önünde bulundurulması büyük önem taşımaktadır (Ergül ve Kravkaz Kuşçu 2025).

Makro ve mikro besinler, uygun hücre işlevi ve genel bitki sağlığı için gereklidir. Bitkiler tarafından büyük miktarlarda ihtiyaç duyulan makrobesinler arasında azot, fosfor, potasyum, kalsiyum, kükürt ve magnezyum bulunur (Naegele vd. 2021). Makro besinlerden Kükürt (S) tüm hayvan türleri için, amino asitlerin, proteinlerin, enzimlerin, vitaminlerin ve diğer biyomoleküllerin önemli bir bileşenidir (Komarnisky vd. 2003). Fosfor (P) ise sınırlı küresel rezervleri olan, biyolojide vazgeçilmez, ikame edilemez bir besin maddesidir (Childers vd. 2011; Bindran vd. 2020). Mineral fosforlu gübreler, yüksek ürün verimini desteklemekle birlikte artan küresel nüfusun

beslenmesine de katkıda bulunmaktadır. Bununla birlikte, karmaşık edafik süreçler, fosforun toprakta hareketsiz kalmasına neden olarak bitkiler tarafından zamanında ve yeterli şekilde alınmasını engeller. Mevcut suda çözünür fosfor gübrelerinin sonuçta ortaya çıkan düşük kullanım etkinliği, önemli çevre ve insan sağlığı sorunlarını ortaya çıkarmaktadır (Bindraban vd. 2020).

Madencilik sahalarında başarılı bir rehabilitasyon çalışması yapabilmek için, besin elementlerinin topraktaki miktarı, dağılımı ve bu alanlarda yetişen bitki organlarında bu elementlerin konsantrasyonlarının belirlenmesi önem taşımaktadır. Bu çalışma kapsamında da makro besin elementlerinden S ve P'nin bakır madenciliği yapılan bir alanda toprak ve bitki organlarındaki konsantrasyonlarının incelenerek revejetasyon çalışmalarının bu besin elementleri üzerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma, Türkiye'nin en büyük bakır madenlerinden birisinin bulunduğu ve on yıllardır bakır madenciliği yapılan Küre ilçesinde yürütülmüştür. Çalışma kapsamında pasa sahası (henüz rehabilitasyon çalışması yapılmamış saha), bitkilendirme yapılmış ve yetişkin, sağlıklı ağaçların bulunduğu rehabilitasyon sahası (revejetasyon sahası) ve ormanlık alandan (maden sahasının içinde bulunan ancak müdahale görmemiş doğal orman) üst toprak (0-5 cm) ve alt toprak (30-35 cm) derinliklerinden numuneler alınmıştır. Toprak numuneleri rehabilitasyon sahası ve ormanlık alandaki karaçam (*Pinus nigra*), sarıçam (*Pinus silvestris*) ve yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia*) türlerinin yetiştiği topraklardan alınmıştır. Ayrıca toprakların alındığı alanda yetişen ağaçlardan dal ve kök numuneleri alınmıştır.

Numuneler etiketlenip poşetlenerek laboratuvara getirilmiştir. Etiketleme esnasında karaçam Çk, sarıçam Çs ve yalancı akasya Ya olarak kodlanmıştır. Toprak örnekleri bir süre oda sıcaklığında bekletildikten sonra elenerek 45 °C etüvde iki hafta boyunca kurutulmuştur. Bitki örnekleri öncelikle parçalanmış, dallar yaprak, kabuk ve odun kısımlarına ayrılmıştır. Numuneler bir süre oda kurusu şartlarda kurutulmuş, daha sonra 45 °C'de bir hafta kurutulmuş, öğütülerek 45 °C'de iki hafta boyunca tekrar kurutulmuştur. Kurutulan numunelerde S ve P konsantrasyonları ICP-OES cihazı yardımıyla belirlenmiştir. Bu yöntem son yıllarda hem topraklarda (Erdem vd. 2024) hem

de bitkilerin çeşitli organlarında (Ghoma vd. 2023; Cebi Kilicoglu 2024a, b) element analizlerinin tayini için sıklıkla kullanılmaktadır. Elde edilen veriler SPSS paket program yardımıyla değerlendirilmiş, verilere varyans analizi ve Duncan testi uygulanmıştır.

Daha sonra bu elementlerin bitki organlarındaki birikim ve yer değiştirmesine ilişkin bilgiler elde edebilmek amacıyla biyokonsantrasyon faktörü (BCF) ve translokasyon faktörü (TF) hesaplanmıştır. Hesaplamalarda aşağıdaki formüller kullanılmıştır (Takarina ve Pin 2017).

$$BCF = (\text{organdaki konsantrasyon}) / (\text{topraktaki konsantrasyon})$$

$$TF = (\text{Organın BCF'si}) / (\text{Kök toprağının BCF'si})$$

Elde edilen veriler sadeleştirilip tablolaştırılarak yorumlanmıştır.

3. BULGULAR

Bitkilerde P konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Bitkilerde P (ppm) konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi

Yer	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	F	Ort
Pasa	Çk	375,2 abA	304,3 abA	500,6 abB	709,7 aC	25,6***	472,5 a
	Çs	449,1 bB	262,0 aA	589,0 bC	624,2 aC	28,2***	481,1 a
	Ya	377,1 abA	279,2 abA	706,3 cB	622,3 aB	16,2***	496,2 ab
	Çk	345,1 abB	246,8 aA	443,3 aC	580,1 aD	48,0***	403,8 a
	Çs	266,1 aA	344,1 bA	742,8 cB	1148,6 bC	31,6***	625,4 b
Orman	Ya	1489,9 cC	345,8 bA	772,3 cB	651,8 aB	61,5***	815,0 c
F Değeri		64,1***	2,8*	11,8***	11,6***		9,2***
Ortalama		550,4 B	297,0 A	625,7 BC	722,8 B	22,7***	

Tablodaki değerlere göre bitkilerde P konsantrasyonu değişiminin tüm türlerde organ bazında ve tüm organlarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer ormanlık alanda yetişen yalancı akasyada elde edilmiştir. Aynı şekilde ortalama değerlere göre organlara bakılırsa en yüksek değer kök ve yaprakta elde edilirken en düşük değer odunda elde edilmiştir. Topraklarda P konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Topraklarda P (ppm) konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Ust	F	Ort
Pasa	-	537,6 ab	491,2 a	3,0 ns	514,4 a
	Çk	560,4 bc	597,1 c	1,7 ns	578,8 b
	Çs	861,5 d	768,6 e	2,7 ns	815,0 d
Pasa	Ya	621,3 cA	689,4 dB	4,7*	655,4 c
	Çk	480,5 aA	548,5 abcB	33,5***	514,5 a
	Çs	516,6 ab	585,1 bc	2,6 ns	550,8 ab
Orman	Ya	563,2 bcB	516,6 abA	6,2*	539,9 ab
F Değeri		31,8***	15,4***		36,0***
Ortalama		591,6	599,5	0,1 ns	

Yukarıdaki sonuçlar göz önüne alındığında topraklarda P konsantrasyonu değişiminin tür olarak sadece yalancı akasyada toprak derinliği bazında ve tüm topraklarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değer Pasa sahalarında yetişen yalancı akasyada elde edilirken en düşük değer Pasa sahası ve Ormanlık alanda yetişen karaçamda elde edilmiştir. P elementinin BCF değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. P elementinin BCF değerleri

Alan	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Çk	0,648	0,526	0,865	1,226	0,816
	Çs	0,551	0,321	0,723	0,766	0,590
	Ya	0,575	0,426	1,078	0,949	0,757
Orman	Çk	0,671	0,480	0,862	1,128	0,785
	Çs	0,483	0,625	1,349	2,085	1,136
	Ya	2,760	0,640	1,430	1,207	1,509
Ortalama		0,948	0,503	1,051	1,227	

P elementinde en düşük BCF değerlerinin pasada 0,321 ormanda ise 0,480 olduğu belirlenmiştir. Hesaplanan en yüksek değerler ise pasa sahalarında 1,226 ile karaçam yapraklarında, ormanlık alanda da 2,760 ile yalancı akasya köklerinde elde edilmiştir. Ortalama en yüksek değerlere pasa sahalarında karaçam (0,816), ormanlık alanda ise yalancı akasya (1,509) türünde ulaşılırken organlarda en yüksek ortalama değerler 1,227 ile yapraklarda hesaplanmıştır. P elementinin TF değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. P elementinin TF değerleri

Alan	Tür	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Çk	0,812	1,335	1,892	1,346
	Çs	0,583	1,312	1,390	1,095
	Ya	0,741	1,875	1,650	1,422
Orman	Çk	0,715	1,285	1,681	1,227
	Çs	1,294	2,793	4,317	2,801
	Ya	0,232	0,518	0,437	0,396
Ortalama		0,730	1,520	1,895	

Tablo değerleri incelendiğinde P elementinde TF değerlerinin pasa sahasında 0,583 ile 1,892 arasında değiştiği ve en yüksek değerlerin karaçam yapraklarında hesaplandığı görülmektedir. Ormanlık alanda ise TF değerleri 0,232 ile 4,317 arasında değişmekte olup en yüksek değerler sarıçam yapraklarında hesaplanmıştır. Ortalama olarak ise en yüksek değerler pasa sahasında yalancı akasya, ormanlık alanda sarıçam türlerinde elde edilirken organlarda da yapraklarda elde edilmiştir. Bitkilerde S konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Bitkilerde S (ppm) konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimi

Yer	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	F	Ort
Pasa	Çk	362,1 aA	346,4 cA	1360,2 dC	1014,7 cdB	36,7***	770,8 a
	Çs	708,3 bB	241,0 aA	648,3 aB	676,0 abB	18,9***	568,4 a
	Ya	927,3 cB	365,9 cA	1125,6 cB	1558,6 eC	23,3***	994,3 c
	Çk	641,2 bB	236,7 aA	854,8 abC	562,5 aB	60,0***	573,8 a
	Çs	308,6 aA	272,8 aA	674,6 aB	844,4 bcC	44,7***	525,1 a
Orman	Ya	1649,3 dD	379,2 cA	1026,6 bcB	1199,4 dC	188,8***	1063,6 c
F Değeri		57,7***	15,9***	13,2***	22,4***		12,4***
Ortalama		766,1 B	307,0 A	948,4 C	975,9 C	39,9***	

Varyans analizi sonuçlarına göre bitkilerde S konsantrasyonu değişiminin tüm türlerde organ bazında ve tüm organlarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre türlerde en yüksek değerler yalancı akasyada elde edilmiştir. Aynı şekilde ortalama değerlere göre organlarda en yüksek değer kabuk ve yaprakta elde edilirken en düşük değer odunda elde edilmiştir. Topraklarda S konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Topraklarda S (ppm) konsantrasyonunun tür ve toprak derinliği bazında değişimi

Yer	Tür	Alt	Ust	F	Ort
Pasa	-	21832,8 bB	12569,9 dA	27,6***	17201,3 b
	Çk	1511,4 aA	3079,9 cB	8,2*	2295,7 a
	Çs	866,1 aA	1555,8 abB	13,7**	1210,9 a
Pasa	Ya	1044,0 aA	1343,3 abB	14,0**	1193,7 a
	Çk	1464,3 aA	2281,6 bcB	4,9*	1873,0 a
	Çs	606,0 aA	795,4 aB	19,6***	700,7 a
Orman	Ya	1488,3 aA	1806,0 abB	22,1***	1647,1 a
F Değeri		153,4***	150,8***		115,1***
Ortalama		4116,1	3347,4	0,5 ns	

Tablodaki sonuçlar incelendiğinde topraklarda S konsantrasyonu değişiminin tüm türlerde toprak derinliği bazında ve tüm topraklarda tür bazında istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Alt ve üst toprakta en yüksek değer Pasa’da elde edilirken üst toprakta en düşük değer Ormanlık alanda sarıçamda elde edilmiştir. S elementinin BCF değerleri Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. S elementinin BCF değerleri

Alan	Tür	Kök	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Çk	0,158	0,151	0,592	0,442	0,336
	Çs	0,585	0,199	0,535	0,558	0,469
	Ya	0,777	0,307	0,943	1,306	0,833
Orman	Çk	0,342	0,126	0,456	0,300	0,306
	Çs	0,440	0,389	0,963	1,205	0,749
	Ya	1,001	0,230	0,623	0,728	0,646
Ortalama		0,551	0,234	0,685	0,757	

S elementinin BCF değerlerini gösteren tablo incelendiğinde BCF değerlerinin pasa sahasında 0,151 ile 1,306 arasında, ormanlık alanda ise 0,126 ile 1,205 arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Ortalama değerlere göre en yüksek değerler pasa sahasında 0,833 ile yalancı akasyada ormanlık alanda ise 0,749 ile sarıçamda elde edilmiştir. Organ olarak da en yüksek ortalama değer 0,757 ile yaprakta elde edilmiştir. S elementinin TF değerleri Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. S elementinin TF değerleri

Alan	Tür	Odun	Kabuk	Yaprak	Ortalama
Pasa	Çk	0,956	3,747	2,797	2,500
	Çs	0,340	0,915	0,954	0,736
	Ya	0,395	1,214	1,681	1,097
Orman	Çk	0,368	1,333	0,877	0,859
	Çs	0,884	2,189	2,739	1,937
	Ya	0,230	0,622	0,727	0,526
Ortalama		0,529	1,670	1,629	

S elementinde TF değerlerinin pasa sahasında 0,340 ile 3,747 arasında ormanlık alanda ise 0,1230 ile 2,739 arasında değiştiği görülmektedir. En yüksek değerler pasa sahasında karaçam kabuklarında, ormanlık alanda ise sarıçam yapraklarında elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre en yüksek değerler tür olarak pasa sahasında karaçamda, ormanlık alanda da sarıçamda elde edilirken organ olarak kabuklarda elde edilmiştir.

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında bakır madeni sahalarında revejetasyon çalışmalarının bitki beslenmesinde en önemli makro besin elementlerinden P ve S konsantrasyonlarının değişimine etkisi belirlenmiştir. Çalışma sonucunda öncelikle her iki elementin de tür ve organ bazında değişiminin istatistiki olarak önemli düzeyde olduğu belirlenmiştir. Bilindiği üzere her bir bitki türünün farklı elementleri biriktirme potansiyeli farklı düzeydedir. Hatta yapılan çalışmalar element birikiminin bitki türü, organı, elementin yapısı, bitki ile etkileşimi, hava halleri gibi pek çok faktöre bağlı olarak değiştiğini (Key vd. 2023; Gültekin vd. 2025; Isinkaralar vd. 2025a), ancak bu faktörler arasında en etkili olan faktörün bitki türü ve organı olduğunu ortaya koymaktadır (Isinkaralar vd. 2025b). Çalışma sonucunda P ve S elementlerinin organ bazında da önemli ölçüde değiştiği belirlenirken genel olarak her iki elementte de en düşük değerler odunda elde edilmiştir. Konu ile ilgili yapılan çok sayıda çalışmada da genel olarak en düşük element konsantrasyonlarının odunda hesapladığı belirtilmektedir (Sevik vd. 2024a; Koç vd. 2024a). Bu durumun en önemli sebebi öncelikle bitki bünyesine elementlerin giriş yolu ile ilgilidir. Elementler bitki bünyesine topraktan kökler, havadan yapraklar veya gövde

bölümlerinden doğrudan girebilmektedir (Cobanoğlu vd. 2023; Isinkaralar vd. 2024). Odun, dış kabuk ve yapraklar gibi hava ile doğrudan bağlantılı bir organ değildir. Odunda element birikimi büyük oranda köklerden sağlanmaktadır. Diri oduna çekilen metal iyonlarının bu dokularda ne ölçüde mevcut kalacağı, muhtemelen ksilemin iyon değiştirme kapasitesine bağlıdır ve bu kapasite ağaç türü bazında önemli ölçüde değişmektedir. İyon değiştirme kapasitesi, biyomateryaller üzerine adsorbe edilen metal iyonlarının miktarını kontrol eder ve emilen iki değerlikli bir metal elementinin bir molü için, bir mol Ca elementi yer değiştirir. Başka bir deyişle, metal türlerinin değerliğine bağlı olarak, adsorbe edilen her metal iyonu türünün hidrojen veya sodyum gibi diğer birçok iyonun yerini değiştirmesi beklenir (Crist vd. 2003; Hubbe vd. 2022; Ozturk Pulatoglu vd. 2025).

Dolayısıyla odun kısmında element birikimi köklerden sağlanan aktif taşımanın bir sonucudur. Bu noktada çalışma kapsamında hesaplanan translokasyon faktörü değerinin (TF) incelenmesi gerekmektedir. TF değeri, bir türün fitoremediasyon çalışmaları için uygunluğunu gösteren önemli bir kriterdir. TF değeri 1'den büyük olan ağaçlar güçlü akümülatörler olarak kabul edilmektedir. Daha büyük TF değerine sahip bitkiler fitoremediasyonda daha etkilidir (Ergül ve Kravkaz Kuşçu, 2024). Bu çalışmada en yüksek TF değerleri P elementinde 4,317 ile sarıçam yapraklarında, S elementinde ise 3,747 ile karaçam kabuklarında elde edilmiştir. Bunun yanında odunlarda elde edilen en yüksek TF değerleri sadece P'de ormanlık alandaki Çs odunlarında 1'in üzerinde (1,294) olup diğer bütün odun numunelerinde 1'in altındadır. Bu sonuç aslında çalışma kapsamında değerlendirilen elementler için istenilen bir sonuçtur. Çünkü odun kısmı bitkinin en büyük organıdır ve odun kısmında biriktirilen elementler onlarca hatta yüzlerce yıl besin döngüsünden uzak kalmaktadır. Bu durum sağlığa zararlı ağır metaller olan Pb, V, Sr, Se, Tl gibi elementlerde istenilen bir durumdur ve birçok çalışmada bu tarz elementleri odun kısmında en fazla biriktiren türler belirlenmeye çalışılmıştır (Sevik vd. 2024b; Koç vd. 2025a, b). Oysa bu çalışma değerlendirilen P ve S bitkileri için mutlak besin elementlerindendir ve bundan dolayı yaprak gibi organlarda biriktirilmeleri tercih edilmektedir. Çünkü yapraklar birkaç yıl içerisinde tekrar toprağa düşerek ayrışmakta ve besin döngüsü devam etmektedir.

5. ÖNERİLER

Çalışma sonucunda ortalama değerlere göre en yüksek S değerleri ile en düşük P değerleri, henüz revejetasyon çalışması yapılmamış ham pasa sahalarında elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre genel olarak pasa içerisinde S miktarının oldukça yüksek olduğu ve yetiştirilen bitkilerin bu elementi kullandığı söylenebilir. Bunun aksine pasa, P bakımından oldukça fakirdir ve bitkilerin etkisi ile topraktaki P konsantrasyonu artmaktadır. Bu durumda pasa sahalarında bitkilendirme yapılmadan önce P gübrelemesinin mutlaka yapılması önerilmektedir.

Çalışma kapsamında makro besin elementlerinden P ve S konsantrasyonlarının değişimi belirlenmiştir. Ancak, çalışma alanı bir maden sahası olduğundan hem ağır metallerin hem de besin elementlerinin toprakta ve bitkilerdeki konsantrasyonu büyük önem taşımaktadır. Toprak yapısı sebebiyle bu tarz alanlarda revejetasyon çalışmaları oldukça zor ve başarı oranı düşük çalışmalardır. Oysa çalışma alanındaki bitkilendirme çalışmalarının oldukça başarılı olduğu gözlemlenmektedir. Bundan dolayı çalışma alanının benzer çalışmalara örnek teşkil edeceği düşünülmektedir.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doç. Dr. İnci Sevinç KRAVKAZ KUŞÇU yürütücülüğünde, Hüseyin Ali ERGÜL tarafından hazırlanan doktora tezinden üretilmiştir.

KAYNAKÇA

- Ahirwal, J., & Pandey, V. C. (2021). Restoration of mine degraded land for sustainable environmental development. *Restoration Ecology*, 29(4), e13268.
- Bindraban, P. S., Dimkpa, C. O., & Pandey, R. (2020). Exploring phosphorus fertilizers and fertilization strategies for improved human and environmental health. *Biology and Fertility of Soils*, 56(3), 299-317.
- Childers, D. L., Corman, J., Edwards, M., & Elser, J. J. (2011). Sustainability challenges of phosphorus and food: solutions from closing the human phosphorus cycle. *Bioscience*, 61(2), 117-124.
- Cebi Kilicoglu, M. (2024a). Metagenomic characterization of root fungal microbiota resistant to heavy metal stress in *Pinus brutia*. *Water, Air, & Soil Pollution*, 235(10), 654.
- Cebi Kilicoglu, M. (2024b). Effects of heavy metal contamination on fungal diversity in *Pinus brutia* shoots. *BioResources*, 19(2), 2724-2735
- Cobanoğlu, H., Sevik, H., & Koç, İ. (2023). Do annual rings really reveal cd, ni, and zn pollution in the air related to traffic density? An example of the cedar tree. *Water, Air, & Soil Pollution*, 234(2), Article 65.
- Crist, D. R., Crist, R. H., & Martin, J. R. (2003). A new process for toxic metal uptake by a kraft lignin. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology* 78(23), 199-202.
- Erdem, R., Koç, İ., Çobanoğlu, H., & Şevik, H. (2024). Variation of magnesium, one of the macronutrients, in some trees based on organs and species. *Forestist*, 74(1), 84-93.
- Ergül, H. A., & Kuşçu, İ. S. K. (2025). Variation in some macronutrients in soil and plant organs at copper mining sites. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 13(4), 860-865.

- Ergül, H. A., & Kravkaz Kuşçu, İ. S. (2024). Variations in Sr, Tl, and V concentrations at copper mining sites based on soil depth, plant species, and plant organ. *BioResources*, 19(4), 7931-7945
- Gao, M., Xie, J., Gao, Y., Wang, W., Li, C., Yang, B., ... & Xie, H. (2021). Mechanical behavior of coal under different mining rates: A case study from laboratory experiments to field testing. *International Journal of Mining Science and Technology*, 31(5), 825-841.
- Ghoma, W. E. O., Sevik, H., & Isinkaralar, K. (2023). Comparison of the rate of certain trace metals accumulation in indoor plants for smoking and non-smoking areas. *Environmental science and pollution research*, 30(30), 75768-75776.
- Gültekin, Y., Bayraktar, M. K., Sevik, H., Cetin, M., & Bayraktar, T. (2025). Optimal vegetable selection in urban and rural areas using artificial bee colony algorithm: Heavy metal assessment and health risk. *Journal of Food Composition and Analysis*, 139, 107169.
- Hubbe, M. A., Szlek, D. B., & Vera, R. E. (2022). Detergency mechanisms and cellulosic surfaces: A review. *BioResources*, 17(4), 7167-7249.
- Isinkaralar, K., Isinkaralar, O., Koç, İ., Özel, H. B., & Şevik, H. (2024). Assessing the possibility of airborne bismuth accumulation and spatial distribution in an urban area by tree bark: A case study in Düzce, Türkiye. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(18), 22561-22572.
- Isinkaralar, K., Isinkaralar, O., Koc, I., Sevik, H., & Ozel, H.B. (2025b). Atmospheric trace metal exposure in a 60-year-old wood: A sustainable methodological approach to measurement of dry deposition. *Int J Environ Res* 19, 112.
- Isinkaralar, O., Isinkaralar, K., & Sevik, H. (2025a). Health for the future: Spatiotemporal CA-MC modeling and spatial pattern prediction via dendrochronological approach for nickel and lead deposition. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 1-13.

- Key, K., Kulaç, Ş., Koç, İ., & Sevik, H. (2023). Proof of concept to characterize historical heavy-metal concentrations in atmosphere in North Turkey: Determining the variations of Ni, Co, and Mn concentrations in 180-year-old *Corylus colurna* L. (Turkish hazelnut) annual rings. *Acta Physiologiae Plantarum*, 45(10), 120.
- Koç, İ., Canturk, U., Isinkaralar, K., Ozel, H. B., & Sevik, H. (2024). Assessment of metals (Ni, Ba) deposition in plant types and their organs at Mersin City, Türkiye. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(3), 282.
- Koç, İ., Canturk, U., Cobanoglu, H., Kulac, S., Key, K., & Sevik, H. (2025a). Assessment of 40-year Al Deposition in some Exotic Conifer Species in the Urban Air of Düzce, Türkiye. *Water Air Soil Pollut* 236, 76.
- Koç, İ., Cobanoglu, H., Canturk, U., Key, K., Sevik, H., & Kulac, S. (2025b). Variation of 40-year Pb deposition in some conifers grown in the air-polluted-urban area of Düzce, Türkiye. *Environmental Earth Sciences*, 84(7), 186.
- Komarnisky, L. A., Christopherson, R. J., & Basu, T. K. (2003). Sulfur: its clinical and toxicologic aspects. *Nutrition*, 19(1), 54-61.
- Kravkaz Kuscu, I. S., Cetin, M., Yigit, N., Savaci, G., & Sevik, H. (2018). Relationship between Enzyme Activity (Urease-Catalase) and Nutrient Element in Soil Use. *Polish Journal of Environmental Studies*, 27 (5). 2107-2112.
- Kuzmina, N., Menshchikov, S., Mohnachev, P., Zavyalov, K., Petrova, I., Ozel, H. B., Aricak, B., Onat, S. M., & Sevik, H. (2023). Change of aluminum concentrations in specific plants by species, organ, washing, and traffic density. *BioResources* 18(1), 792-803.
- Ma, J., Gonzalez-Ollauri, A., Zhang, Q., Xiao, D., & Chen, F. (2021). Ecological network analysis to assess the restoration success of disturbed

- mine soil in Zoucheng, China. *Land Degradation & Development*, 32(18), 5393-5411.
- Makineci, E., Gungor, B. S., & Kumbasli, M. (2011). Natural plant revegetation on reclaimed coal mine landscapes in Agacli-Istanbul. *African Journal of Biotechnology*, 10(16), 3248-3259.
- Naegele, R. P., Londo, J. P., Zou, C., & Cousins, P. (2021). Identification of SNPs associated with magnesium and sodium uptake and the effect of their accumulation on micro and macro nutrient levels in *Vitis vinifera*. *PeerJ*, 9, e10773.
- Ozturk Pulatoglu, A., Koç, İsmail, Özel, H. B., Şevik, H., & Yıldız, Y. (2025). Using trees to monitor airborne Cr pollution: Effects of compass direction and woody species on Cr uptake during phytoremediation. *BioResources*, 20(1), 121–139.
- Ribeiro, S. S., Schwartz, G., Silva, A. R., da Cruz, D. C., Neto, A. B. B., Gama, M. A. P., ... & Lopes, J. D. C. A. (2021). Soil properties under different supplementary organic fertilizers in a restoration site after kaolin mining in the Eastern Amazon. *Ecological Engineering*, 170, 106352.
- Sevik, H., Koç, İ. & Cobanoglu, H. (2024a). Determination of some exotic landscape species as biomonitors that can be used for monitoring and reducing Pd pollution in the air. *Water Air Soil Pollut* 235, 615.
- Sevik, H., Yildiz, Y., Ozel, H.B. (2024b). Phytoremediation and long-term metal uptake monitoring of silver, selenium, antimony, and thallium by black pine (*Pinus nigra* Arnold). *BioResources*, 19(3). 4824-4837.
- Takarina, N. D., & Pin, T. G. (2017). Bioconcentration factor (BCF) and translocation factor (TF) of heavy metals in mangrove trees of Blanakan fish farm. *Makara Journal of Science*, 77-81.

BÖLÜM 13

SÜRDÜRÜLEBİLİR YEM BİTKİLERİNİN VE YEM KATKILARININ HAYVAN REFAHINA ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Pınar PORTAKAL¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17738082>

¹ Çankırı Karatekin Üniversitesi, Gıda ve Tarım MYO, Tarla Bitkileri Programı, Çankırı, Türkiye. pinarportakal@karatekin.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-5994-5872

1. GİRİŞ

Sürdürülebilir hayvancılık, ekonomik verimliliği artırırken sera gazı emisyonlarını azaltarak çevresel etkiyi en aza indirmeyi ve hayvan refahını en üst düzeye çıkarmayı hedefleyen bütüncül bir yaklaşımdır (Kahraman ve Yılmaz 2024). Bu yaklaşım, üretimde verimliliği artırmak için hayvan besleme, gübre yönetimi, arazi kullanımı ve enerji gibi tüm aşamaları bir arada yöneten stratejiler içerir (Bartkowiak 2021).

Sürdürülebilir hayvancılık uygulamalarının olumlu etkileri bulunmaktadır. Kaliteli ve dengeli yemlerle beslenen hayvanlarda sağlık durumu iyileşmekte, verimlilik artmakta ve üretim maliyetleri düşmektedir (Chaudhry 2008). Yerel ve mevsimsel yem bitkilerinin kullanımı, çiftçilerin gelirini arttırmanın yanı sıra tarımsal biyoçeşitliliğin korunmasına da katkı sağlamaktadır (Dwyer 2020). Doğru yönetilen yem kaynakları, toprak yapısını iyileştirme, su kaynaklarını koruma ve uzun vadede gıda güvenliğini güçlendirme potansiyeline sahiptir (Pandey vd. 2019). Ayrıca, yem yönetimi ve beslenme stratejileri, hayvanların sindirim sisteminin daha verimli çalışmasını sağlayarak yemden yararlanmayı ve üretim performansını arttırmaktadır (Saefullah vd. 2024).

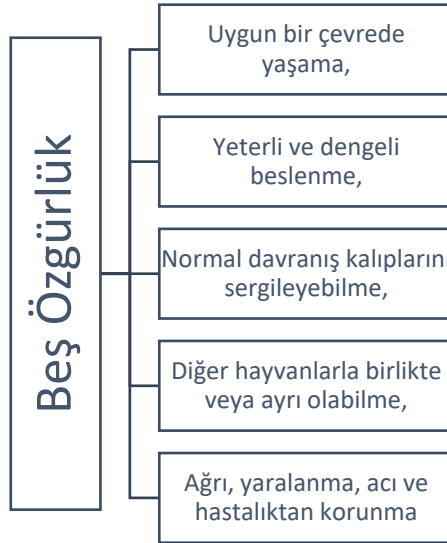
Bununla birlikte, sürdürülebilir hayvancılıkta bazı kısıtlayıcı faktörler bulunmaktadır. Özellikle geviş getiren hayvanlarda (sığır, koyun, keçi) sindirim sürecinde oluşan metan (CH_4) gazı, tarımsal sera gazı emisyonlarının önemli bir bileşenini oluşturmaktadır (Llonch vd. 2016). Yanlış yem yönetimi, yetersiz rasyon planlaması veya düşük kaliteli yem kullanımı hem verim kayıplarına yol açabilmekte hem de çevresel yükü artırabilmektedir. Bazı yem bitkileri veya katkı maddelerinin potansiyel toksin içeriği, hayvan sağlığı ve ürün güvenliği açısından risk teşkil edebilmektedir (Pandey vd. 2019).

Bu kitap bölümü, sürdürülebilir yem bitkilerinin ve yem katkılarının hayvan refahı üzerindeki etkilerini veteriner farmakolojisi ve toksikolojisi perspektifinden inceleyecek; olumlu sonuçların optimize edilmesi ve potansiyel risklerin minimize edilmesi için uygulanabilecek stratejileri tartışacaktır.

2. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE HAYVAN REFAHI KAVRAMLARI

Tarım üretiminde sürdürülebilirlik kavramı, özellikle hayvan üretim sektörü açısından 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren giderek önem kazanmıştır (Nábrádi vd. 2011). Sürdürülebilirlik, yalnızca ekolojik boyutu değil; ekonomik, sosyal, politik ve kültürel unsurları da kapsayan çok yönlü bir yaklaşımdır. Bu çerçevede çevre koruma, yerel gelenekler ve kültürel mirasın korunması kadar, insan ve hayvan sağlığının iyileştirilmesi ve kırsal toplulukların devamlılığının sağlanması da temel hedefler arasındadır (Dwyer 2020).

Hayvan refahı, sürdürülebilirliğin önemli kriterlerinden biridir. Farklı tanımlar bulunmakla birlikte, genel olarak hayvan refahı; hayvanın biyolojik işleyişinin dengeli olması, doğal yaşam davranışlarını sergileyebilmesi ve olumlu bir duygusal durumda bulunması ile ilişkilendirilir (Saefullah vd. 2024). Tarihsel olarak en yaygın kullanılan çerçeve “Beş Özgürlük” yaklaşımıdır (Şekil 1.).



Şekil 1. Hayvan refahında Beş Özgürlük (Llonch vd. 2016)

Modern yaklaşımlar ise bu beş temel özgürlüğe ek olarak, hayvanların olumlu duygusal deneyimler yaşayabilmesini ve yaşam kalitesinin artırılmasını da hedefler (Dwyer 2020). Hayvan refahının sağlanması yalnızca etik bir

zorunluluk değil, aynı zamanda üretim verimliliği ve ürün kalitesi üzerinde doğrudan etkiye sahiptir (Pandey vd. 2019). Sağlıklı, stresten uzak hayvanlar; yemden daha iyi yararlanır, bağışıklıkları güçlü olur ve hastalıklara karşı daha dirençli hale gelir.

Dolayısıyla hayvan refahı, sürdürülebilir hayvancılığın ekolojik, ekonomik ve sosyal boyutlarını bütünleştiren bir faktör olarak rol oynar (Nábrádi vd. 2011).

3. SÜRDÜRÜLEBİLİR YEM BİTKİLERİ: TANIM, ETKİLER VE POTANSİYEL SINIRLILIKLAR

Sürdürülebilir yem bitkileri; hayvancılık sistemlerinde hayvanların besin ihtiyaçlarını karşılayan, toprak sağlığını koruyan ve sera gazı emisyonlarını, toprak erozyonunu ve su kirliliğini azaltarak çevre üzerindeki olumsuz etkileri en aza indiren bitki türleri olarak tanımlanır (Chaudhry 2008). Bu bitkiler, yoğun su, gübre ve pestisit kullanımına dayalı geleneksel tarım yöntemlerine kıyasla daha az girdi gerektirir; böylece doğal kaynakların korunmasına katkı sağlar (Nábrádi vd. 2011). Ayrıca, ekosistem dengesini gözeterek biyoçeşitliliğin sürdürülmesine yardımcı olur.

Sürdürülebilir yem bitkileri, çevresel sürdürülebilirliğe çeşitli mekanizmalarla önemli katkılar sağlar:

Toprak Sağlığı: Yem bitkileri, özellikle çok yıllık olanlar, derin ve yoğun kök sistemleri geliştirerek toprağın yapısını iyileştirir, agregat stabilitesini artırır ve su sızma kapasitesini yükseltir. Toprak yüzeyini kaplayarak su ve rüzgâr erozyonuna karşı koruma sağlarlar. Ayrıca, kök kalıntıları ve dökülen yapraklar topraktaki organik madde miktarını artırarak verimliliği ve biyolojik aktiviteyi destekler (Acar vd. 2025).

Su Kullanımı: Kuraklığa ve su stresine dayanıklı yem bitkisi türlerinin (örneğin bazı sorgum çeşitleri, korunga) tarım sistemlerine dahil edilmesi, kısıtlı su kaynaklarının daha verimli kullanılmasına olanak tanır (Erkovan ve Tan 2009; Niyazi 2018). Derin kök sistemleri, toprağın alt katmanlarındaki nemden faydalanmalarını sağlayarak sulama ihtiyacını azaltır.

Biyoçeşitlilik: Monokültür tarıma kıyasla, farklı yem bitkisi türlerinden oluşan veya bu türleri içeren ekim nöbeti sistemleri, tarımsal ekosistemlerdeki biyoçeşitliliği artırır. Çiçekli yem bitkileri (yonca, korunga, fiğ vb.), arılar ve diğer polinatörler (tozlayıcılar) için kritik bir nektar ve polen kaynağı sağlar.

Bu durum hem tarımsal üretimin devamlılığı hem de doğal ekosistemlerin sağlığı için hayati öneme sahiptir (Nave 2025).

Karbon Ayak İzi: Baklagil yem bitkileri (yonca, fiğ, bezelye vb.), atmosferdeki azotu köklerinde bulunan *Rhizobium* bakterileri aracılığıyla fikse ederek (bağlayarak) toprağı zenginleştirir. Bu biyolojik azot fiksasyonu, çok yüksek enerji harcanarak üretilen sentetik azotlu gübrelere olan ihtiyacı azaltır ve bu gübrelerin üretimi ve kullanımı sırasında ortaya çıkan sera gazı (özellikle nitroz oksit) emisyonlarını önemli ölçüde düşürür (Kathrin vd. 2020; Mahama vd. 2020).

Yüksek kalitede yetiştirilen yem bitkileri, hayvan beslemesinin temelini oluşturarak sağlık ve verimlilik üzerinde çok yönlü pozitif etkiler yaratır. Bu bitkiler, hayvanların büyüme, laktasyon (süt verimi) ve üreme gibi fizyolojik fonksiyonları için kritik öneme sahip olan protein, enerji, vitamin ve mineralleri biyoyararlanımı yüksek ve dengeli bir formda sunarak zooteknik performansı doğrudan artırır (Coleman 2003). Özellikle ruminant (geviş getiren) beslemesinde, lif bakımından zengin kaba yemler, rumen pH'sını düzenleyerek ve mikrobiyal popülasyonu destekleyerek sindirim sistemi sağlığının korunmasında merkezi bir rol oynar; bu da besin maddelerinin daha etkin bir şekilde emilimine olanak tanır. Besin değeri optimize edilmiş bir rasyonun sağladığı immün sistem desteği ve artan hastalık direnci, çiftlik ekonomisine doğrudan yansiyarak veteriner maliyetlerinde önemli bir azalmaya yol açar (Zhang vd. 2025).

Sürdürülebilir hayvancılık sistemlerinde kullanılabilecek yem bitkileri, sahip oldukları agronomik ve besinsel özelliklere göre farklılık gösterir. Başlıca örnekler ve bu bitkilerin sisteme katkıları aşağıda detaylandırılmıştır:

Yonca (*Medicago sativa*): "Yem bitkilerinin kraliçesi" olarak bilinen yonca, yüksek protein içeriği, zengin vitamin ve mineral yapısı ile besleme açısından üstün bir değere sahiptir. En önemli ekolojik katkısı, köklerindeki *Sinorhizobium meliloti* bakterileri aracılığıyla atmosferik azotu toprağı bağlama kapasitesidir. Bu özellik, sentetik azotlu gübre ihtiyacını ortadan kaldırarak hem üretim maliyetlerini hem de çevresel ayak izini önemli ölçüde azaltır (Wan vd. 2023).

Fiğ (*Vicia spp.*): Hızlı gelişimi ve toprağı etkin bir şekilde kaplama yeteneği sayesinde fiğ türleri, erozyon kontrolü ve yabancı ot baskısı için ideal bir ara ürün veya örtücü bitkidir. Toprağı organik madde ve azot bakımından

zenginleştirir. Yüksek besin değeri sayesinde hem kuru ot hem de silaj yapımında yaygın olarak kullanılır ve hayvan rasyonlarında protein açığını kapatmada stratejik bir rol oynar (Ramírez-Parra ve De la Rosa 2023).

Korunga (*Onobrychis viciifolia*): Özellikle yarı kurak ve kireçli topraklara adaptasyonu yüksek olan korunga, derin kök sistemi sayesinde kuraklığa karşı oldukça dayanıklıdır. Bu özelliği, su kaynaklarının kısıtlı olduğu bölgelerde sürdürülebilir kaba yem üretimini mümkün kılar. Ayrıca, içerdği kondanse tanenler sayesinde ruminantlarda protein sindirimini kolaylaştırır ve şişkinlik riskini azaltır, bu da onu hayvan sağlığı açısından değerli bir seçenek haline getirir (Min vd. 2003; Theodoridou vd. 2010).

Çok Yıllı Çayır Mera Karışımları: Tek bir türün ekiminden ziyade, farklı özelliklere sahip bitkilerin bir arada ekildiği karışımlar (örneğin, İngiliz çimi-Ryegrass ve beyaz yonca-*Trifolium repens*), ekosistem direncini ve verimliliğini artırır. Bu tür polikültür sistemlerde, baklagiller (yonca) azotu fıkse ederken, buğdaygiller (çim) topraktaki azotu verimli bir şekilde kullanır. Bu sinerji, hem mera otlatma kalitesini ve süresini artırır hem de toprağın sağlığını ve biyoçeşitliliğini destekler (Chaudhry 2008).

Sürdürülebilir yem bitkilerinin sayısız faydasına rağmen, bazı türlerin içerdikleri doğal bileşikler (anti-besinsel faktörler) nedeniyle dikkatli yönetilmesi gerekmektedir. Bu bileşikler, özellikle rasyonda yüksek oranlarda bulunduklarında veya yanlış yönetildiklerinde hayvan sağlığı ve verimliliği üzerinde olumsuz etkilere yol açabilir.

Siyanogenetik Glikozitler: Bazı sorgum (*Sorghum spp.*) ve fiğ (*Vicia spp.*) türleri, bitki dokusu hasar gördüğünde (örneğin don veya ezilme sonrası) hidrolize olarak zehirli hidrojen siyanür (HCN) açığa çıkarabilen siyanogenetik glikozitler içerebilir. Bu durum, akut zehirlenmelere neden olabilir (Kumar vd. 2018).

Fitoöstrojenler: Özellikle yonca ve kırmızı üçgül (*Trifolium pratense*) gibi bazı baklagiller, östrojen hormonunu taklit eden "kumarin" türevi fitoöstrojenler içerebilir. Yüksek düzeyde ve uzun süreli tüketimi, dişi hayvanlarda üreme performansını olumsuz etkileyebilir (Ben Salem vd. 2010).

Tanenler: Korunga gibi bitkilerde faydalı etkileri olan tanenler, bazı diğer baklagillerde (örneğin bazı akasya türleri) çok yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu protein ve minerallerin emilimini engelleyerek besinlerden yararlanmayı düşürebilir (Avila vd. 2020).

Bu risklerin yönetimi, tek bir yem bitkisine dayalı beslemeden kaçınmayı gerektirir. Rasyonda çeşitliliğin sağlanması, bitkilerin anti-besinsel faktör seviyelerinin en düşük olduğu uygun fenolojik dönemde hasat edilmesi ve doğru kurutma/silaj gibi işleme tekniklerinin uygulanması, bu potansiyel riskleri minimize ederek sürdürülebilir yem yönetiminin temelini oluşturur (Wróbel vd. 2025).

4. YEM KATKILARI VE HAYVAN REFAHI: FARMAKOLOJİK PERSPEKTİF

Yem katkı maddeleri, hayvan sağlığını korumak, yemden yararlanmayı optimize etmek ve büyüme performansını artırmak gibi amaçlarla dünya genelinde yaygın olarak kullanılan maddelerdir (Pandey vd. 2019). Bu katkılar, hayvan refahını ve verimliliğini artırmada farmakolojik olarak önemli roller üstlenir.

➤ Doğal ve Bitkisel Katkıların Rolü:

Antibiyotiklerin büyüme teşvik edici olarak kullanımının yasaklanması, doğal ve kalıntı bırakmayan alternatiflere olan ilgiyi artırmıştır. Bu bağlamda, bitkisel kaynaklı yem katkıları (fitobiyotikler), sürdürülebilir hayvancılık için önemli bir potansiyel sunmaktadır. Yapılan çalışmalar, bitkisel özlerin antimikrobiyal, anti-inflamatuar, antioksidan ve bağışıklık sistemini uyarıcı (immün-stimülan) gibi çeşitli tıbbi özelliklere sahip olduğunu göstermektedir (Wang vd. 2024). Bu özellikler, hayvanların genel sağlık durumunu iyileştirerek refahlarına dolaylı yoldan katkıda bulunur.

➤ Sürdürülebilirlik ve Verimlilik Üzerindeki Etkiler:

Hayvan refahı ilkelerinin uygulanması, çevresel sürdürülebilirlik hedefleriyle yakından ilişkilidir (Fraser 2008). Özellikle uygun beslenme stratejileri, geniş getiren hayvanlarda metan gibi sera gazı emisyonlarının önemli ölçüde düşürülmesini sağlayabilir. Metan üretimini azaltmaya yönelik stratejiler arasında, enterik metan üretimini baskılayan 3-nitrooksipropanol (3-NOP) gibi kimyasal inhibitörlerin kullanımı öne çıkmaktadır. Yapılan araştırmalar, bu tür inhibitörlerin süt sığırlarında yem verimliliğini artırırken metan üretimini önemli ölçüde azalttığını kanıtlamıştır (Hristov vd. 2015).

Sera gazı emisyonlarını azaltırken aynı zamanda hayvan sağlığını ve refahını iyileştiren yem takviyesi gibi uygulamalar, "kazan-kazan" stratejileri olarak değerlendirilmektedir (Knapp vd. 2014). Sağlıklı ve refahı yüksek

hayvanlar, yemi daha verimli kullanarak daha yüksek canlı ağırlık artışı sergilerler; bu durum hem ekonomik hem de çevresel faydalar sağlar.

5. YEM BİTKİLERİ VE YEM KATKILARININ TOKSİKOLOJİK BOYUTU

Yem bitkileri ve yem katkı maddeleri, hayvan besleme ve refahının vazgeçilmez unsurları olmakla birlikte, uygun kalite kontrolü yapılmadığında veya yanlış dozlarda kullanıldığında çeşitli toksikolojik riskler barındırır. Bu riskler; doğal toksinler, çevresel kirleticiler ve sentetik katkıların etkilerinden kaynaklanabilir. Mikotoksinler, özellikle tahıllar ve kaba yemlerde küf mantarlarının gelişimi sonucu oluşan ikincil metabolitlerdir. Aflatoksinler, zearalenon, okratoksinler, fumonisinler ve trikotesenler (ör. deoksinivalenol, DON) hayvanlarda bağışıklık sisteminin baskılanması, üreme bozuklukları, karaciğer ve böbrek hasarı, sinir sistemi bozuklukları ve performans kayıplarına yol açabilir (Zain 2011). Bazı durumlarda bu toksinler, hayvansal ürünler yoluyla insan sağlığını da tehdit edebilir. Riskin azaltılmasında hasat sonrası depolama koşullarının iyileştirilmesi ve bağlayıcı katkı maddelerinin (kil mineralleri, maya hücre duvarı bileşenleri) kullanılması etkili yöntemlerdir (Kolosova ve Stroka 2011). Bunun yanı sıra bazı yem bitkileri doğal olarak toksik bileşikler içerebilir. Siyanogenetik glikozitler (bazı fiğ türlerinde), fitoöstrojenler (yonca), tanenler (bazı baklagiller) ve nitrat/nitritler (bazı ot türleri) yüksek düzeylerde alındığında sindirim bozuklukları, üreme sorunları veya toksik şoklara neden olabilir (Francis vd. 2002). Ağır metaller (arsenik, kurşun, kadmiyum, cıva vb.) ise endüstriyel atıklar, madencilik faaliyetleri veya kirlenmiş sulama suları yoluyla yemlere bulaşabilir ve organizmada birikerek kronik toksisiteye, metabolik bozukluklara ve ürün kalitesinde düşüşe neden olur (Tchounwou vd. 2012). Sentetik yem katkıları genellikle önerilen dozlarda güvenli kabul edilse de yanlış kullanım veya aşırı doz durumunda zararlı etkiler ortaya çıkabilir. Antibiyotik büyüme faktörleri, kokidiyostatikler ve bazı hormon benzeri maddeler, fizyolojik düzenleyici sistemlerde değişikliklere yol açarak bağışıklık fonksiyonlarını, üreme performansını ve stres tepkilerini olumsuz etkileyebilir (Gadde vd. 2017). Avrupa Birliği'nde antibiyotiklerin büyüme teşvik edici olarak kullanımının yasaklanması, bu riskleri azaltmak amacıyla alınmış ciddi bir önlemdir. Fitobiyotikler genellikle güvenli kabul edilse de yüksek dozlarda fitotoksik etkiler gösterebilir. Uçucu

yağlar, alkaloidler, tanenler ve saponinler aşırı alındığında sindirim bozuklukları, iştah kaybı veya metabolik stres yaratabilir (Windisch vd. 2008). Bu nedenle yemlerde kullanılan her türlü bitkisel veya sentetik katkı, yalnızca besleyici değeri açısından değil, toksikolojik güvenliği bakımından da titizlikle değerlendirilmelidir. Kabul edilebilir günlük alım düzeyleri (ADI) ve maksimum kalıntı limitleri (MRL) uluslararası standartlara göre belirlenmeli, kalite kontrol süreçleri, toksin analizleri ve güvenli depolama yöntemleri hayata geçirilmelidir. Toksikolojik risklerin yönetimi, "Tek Sağlık" (One Health) yaklaşımı çerçevesinde; hayvan, insan ve çevre sağlığını birlikte ele alan bütüncül bir anlayışla yürütülmelidir.

6. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK, YEM YÖNETİMİ VE HAYVAN REFAHI ARASINDAKİ BÜTÜNSEL İLİŞKİ

Sürdürülebilir hayvancılık, çevresel sorumluluk, ekonomik uygulanabilirlik ve sosyal kabul edilebilirlik olmak üzere üç temel sütun üzerine kuruludur (Nábrádi vd. 2011). Bu üç sütunun merkezinde yem yönetimi ve hayvan refahı bulunur. Kaliteli ve sürdürülebilir yem kaynakları, hayvanların sağlıklı ve verimli olmasını sağlar, bu da doğrudan ekonomik getiriyi artırır. Aynı zamanda çevre dostu yem üretimi ve kullanımı, doğal kaynakların korunmasına ve tarımsal faaliyetlerin karbon ayak izinin azaltılmasına katkı sağlar (Steinfeld vd. 2006).

Üçlü Denge: Çevre – Ekonomi – Hayvan Refahı: Sürdürülebilir hayvancılıkta başarı, çevre koruma, ekonomik kârlılık ve hayvan refahı hedeflerinin birlikte gerçekleştirilmesine bağlıdır. Yüksek kaliteli yem bitkileri ve doğru katkı kullanımı sayesinde hayvanlar optimal beslenir, hastalık riski azalır ve üretim verimliliği artar (Nábrádi vd. 2011).

Hassas Besleme Teknikleri: Hassas besleme, hayvanların yaş, tür, üretim dönemi ve fizyolojik durumlarına göre besin ihtiyaçlarını tam olarak karşılayacak rasyonların hazırlanmasıdır. Bu yaklaşım:

- Yem israfını önler,
- Sera gazı (metan, nitröz oksit) emisyonlarını azaltır,
- Üretim maliyetlerini düşürür (Godfray ve Garnett 2014).

Yerel ve Bölgesel Yem Kaynaklarının Kullanımı: Yerel yem bitkilerinin kullanılması, nakliye maliyetlerini ve buna bağlı karbon emisyonlarını azaltır.

Aynı zamanda yerel çiftçiler için ekonomik katkı sağlar ve bölgesel tarım ekosistemlerinin devamlılığını destekler (Steinfeld vd. 2006).

Atık ve Yan Ürünlerin Değerlendirilmesi: Gıda endüstrisi yan ürünleri (ör. bira posası, şeker pancarı posası) ve tarımsal atıklar, uygun işlemden geçirilerek hayvan beslemede kullanılabilir. Bu yöntem, kaynak verimliliğini artırırken atık miktarını da azaltır (Makkar 2016).

Çevresel Zenginleştirme ve Refah Uygulamaları: Yemleme alanlarının ve barınakların hayvanların doğal davranışlarını sergileyebilecekleri şekilde düzenlenmesi (otlatma alanları, serbest dolaşım, yemliklerin uygun yerleşimi) hem refahı artırır hem de stres kaynaklı verim kayıplarını önler (Fraser 2008).

7. GELECEK PERSPEKTİFLERİ VE ÖNERİLER

Sürdürülebilir yem bitkileri ve yem katkılarının hayvan refahına etkisi konusundaki bilimsel çalışmalar, son yıllarda giderek artan bir ilgi görmektedir. Gelecekte bu alanın daha da gelişmesi için yenilikçi yaklaşımlar ve teknoloji odaklı çözümler ön plana çıkacaktır.

Yeni Nesil Yem Katkıları: Metan emisyonlarını azaltan, besin maddelerinin sindirilebilirliğini artıran ve hayvan sağlığını destekleyen doğal kaynaklı katkı maddelerinin geliştirilmesi öncelikli araştırma alanlarından biridir. Örneğin, deniz yosunu ekstraktları, tanenler ve uçucu yağlar üzerinde yapılan çalışmalar umut vericidir (Liu vd. 2025).

Hassas Besleme Teknolojileri: Sensör tabanlı yemleme sistemleri, yapay zeka destekli rasyon planlama yazılımları ve bireysel hayvan takibi, yem israfını azaltarak hem ekonomik hem de çevresel fayda sağlar (Akintan vd. 2024; Papakonstantinou vd. 2024). Bu sistemlerin yaygınlaşması, çiftlik yönetiminde verimlilik ve sürdürülebilirlik standartlarını yükseltecektir.

Genetik İyileştirme: Hem yem bitkilerinin besin değerini ve hastalıklara karşı direncini artırmak hem de hayvanların yemden yararlanma verimliliğini ve strese karşı toleransını geliştirmek amacıyla genetik iyileştirme programlarının desteklenmesi önerilmektedir (Van Eenennaam 2025).

Toksin Yönetiminde İnovasyon: Yemlerdeki toksinlerin hızlı ve doğru tespiti için yeni analitik yöntemler geliştirilmelidir. Ayrıca toksinlerin etkilerini nötralize eden veya bağlayan daha etkili ve güvenli detoksifikasyon stratejileri üzerine çalışmalar yoğunlaştırılmalıdır (Ahuja vd. 2023; Maphaisa vd. 2025).

Eğitim ve Farkındalık Çalışmaları: Üreticiler, veteriner hekimler ve tüketiciler arasında sürdürülebilir yem yönetimi, hayvan refahı ve gıda güvenliği konularında farkındalık artırılmalıdır (Umutoni ve Ayantunde 2024). Eğitim programları, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada en önemli araçlardan biridir.

8. SONUÇ

Sürdürülebilir yem bitkileri ve yem katkılarının hayvan refahı üzerindeki etkileri, veteriner farmakolojisi ve toksikolojisi perspektifinden değerlendirildiğinde, bu unsurların modern hayvancılık sistemlerinde merkezi bir role sahip olduğu görülmektedir. Kaliteli ve sürdürülebilir yem bitkileri, hayvanların beslenme kalitesini artırarak büyüme, üreme ve üretim performansını iyileştirir; aynı zamanda toprak sağlığı, su kullanımı ve biyoçeşitlilik gibi çevresel faktörler üzerinde olumlu etki yaratır.

Yem katkıları, sindirim sağlığını destekleme, bağışıklık sistemini güçlendirme, stresin azaltılması ve sera gazı emisyonlarının düşürülmesi gibi çok yönlü faydalar sunar. Bununla birlikte hem yem bitkilerinde hem de yem katkılarında bulunabilecek potansiyel toksinler ve yanlış kullanımın yaratabileceği riskler göz ardı edilmemelidir. Bu nedenle, doz optimizasyonu, kalite kontrol, toksin analizi ve yasal düzenlemelere uyum, güvenli ve sürdürülebilir hayvancılık için vazgeçilmezdir.

Gelecekte, yeni nesil yem katkıları, hassas besleme teknolojileri, genetik iyileştirme programları ve toksin yönetimi alanındaki yenilikler hem hayvan refahını hem de çevresel sürdürülebilirliği ileriye taşıyacaktır. Üretici, veteriner hekim ve tüketici üçlüsünde bilgi ve farkındalık düzeyinin yükseltilmesi, bu hedeflere ulaşmada kilit unsur olacaktır.

Sonuç olarak, sürdürülebilir yem bitkileri ve yem katkılarının entegre bir yönetim anlayışı ile kullanılması, hayvan refahını artırırken çevresel etkiyi en aza indiren, ekonomik olarak uygulanabilir ve etik açıdan kabul edilebilir bir hayvancılık modelinin temelini oluşturmaktadır.

KAYNAKÇA

- Acar, Z., Ayan, İ., & Önal Aşçı, O. (2025). Yem bitkileri tarımında mevcut durum ve sürdürülebilirlik. *Türkiye Ziraat Mühendisliği X. Teknik Kongresi*, ss. 547–564.
- Ahuja, V., Singh, A., Paul, D., Dasgupta, D., Urajová, P., Ghosh, S., ... & Saurav, K. (2023). Recent advances in the detection of food toxins using mass spectrometry. *Chemical Research in Toxicology*, 36(12), 1834–1863.
- Akintan, O., Gebremedhin, K. G., & Uyeh, D. D. (2024). Animal feed formulation—Connecting technologies to build a resilient and sustainable system. *Animals*, 14(10), 1497.
- Avila, A. S., Zambom, M. A., Faccenda, A., Werle, C. H., Almeida, A. R., Schneider, C. R., ... & Faciola, A. P. (2020). Black Wattle (*Acacia mearnsii*) condensed tannins as feed additives to lactating dairy cows. *Animals*, 10(4), 662.
- Bartkowiak, A. M. (2021). Energy-saving and low-emission livestock buildings in the concept of smart farming. *Journal of Water and Land Development*, (51), 272–278.
- Ben Salem, H., Nefzaoui, A., & Ben Salem, L. (2010). Effects of feeding *Acacia cyanophylla* Lindl. foliage on reproductive performance of Barbarine ewes. *Small Ruminant Research*, 91(1), 1–6.
- Chaudhry, A. S. (2008). Forage-based animal production systems and sustainability: An invited keynote. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(spe), 78–84.
- Coleman, S. W. (2003). Feed quality and animal performance. *Field Crops Research*, 84(1–2), 17–29.
- Dwyer, C. M. (2020). Can improving animal welfare contribute to sustainability and productivity? *Black Sea Journal of Agriculture*, 3(1), 61–65.
- Francis, G., Kerem, Z., Makkar, H. P., & Becker, K. (2002). The biological action of saponins in animal systems: A review. *British Journal of Nutrition*, 88(6), 587–605.
- Fraser, D. (2008). Understanding animal welfare. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 50(Suppl 1), S1.

- Gadde, U., Kim, W. H., Oh, S. T., & Lillehoj, H. S. (2017). Alternatives to antibiotics for maximizing growth performance and feed efficiency in poultry: A review. *Animal Health Research Reviews*, 18(1), 26–45.
- Godfray, H. C. J., & Garnett, T. (2014). Food security and sustainable intensification. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1639), 20120273.
- Hristov, A. N., Oh, J., Giallongo, F., Frederick, T. W., Harper, M. T., Weeks, H. L., ... & Duval, S. (2015). An inhibitor persistently decreased enteric methane emission from dairy cows without negatively affecting milk production. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(34), 10663–10668.
- Kahraman, M., & Yılmaz, H. (2024). Sürdürülebilir hayvancılıkta yenilikçi teknolojilerin kullanımı. *Turkish Journal of Science and Engineering*, 6(1), 64–71.
- Kathrin, F., Lutz, M., Nina, B., Gianni, B., Marco, B., Lorenzo, B., ... & Snow, V. (2020). Evaluating the potential of legumes to mitigate N₂O emissions from permanent grassland using process-based models. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 296, 106928.
- Knapp, J. R., Laur, G. L., Vadas, P. A., Weiss, W. P., & Tricarico, J. M. (2014). Invited review: Enteric methane in dairy cattle production—Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *Journal of Dairy Science*, 97(6), 3231–3261.
- Erkovan, H., & Tan, M. (2009). Sulu ve kıraç şartlarda yetiştirilen korungada ot ve tohum verimi ile bazı özelliklerinin belirlenmesi. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 2(1), 61-71
- Kumar, R., Singh, V. P., Singh, R., & Singh, A. K. (2018). Cyanogenic glycosides in plants: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(3), 2264–2268.
- Liu, Y., Zhou, M., Diao, Q., Ma, T., & Tu, Y. (2025). Seaweed as a feed additive to mitigate enteric methane emissions in ruminants: Opportunities and challenges. *Journal of Integrative Agriculture*, 24(4), 1327–1341.
- Llonch, P., Haskell, M. J., Dewhurst, R. J., & Turner, S. P. (2016). Current available strategies to mitigate greenhouse gas emissions in livestock systems: An animal welfare perspective. *Animal*, 11(2), 274–284.

- Mahama, G. Y., Prasad, P. V. V., Roozeboom, K. L., Nippert, J. B., & Rice, C. W. (2020). Reduction of nitrogen fertilizer requirements and nitrous oxide emissions using legume cover crops in a no-tillage sorghum production system. *Sustainability*, 12(11), 4403.
- Makkar, H. P. (2016). Smart livestock feeding strategies for harvesting triple gain—the desired outcomes in planet, people and profit dimensions: A developing country perspective. *Animal Production Science*, 56(3), 519–534.
- Maphaisa, T. C., Akinmoladun, O. F., Adelusi, O. A., Mwanza, M., Fon, F., Tangni, E., & Njobeh, P. B. (2025). Advances in mycotoxin detection techniques and the crucial role of reference material in ensuring food safety: A review. *Food and Chemical Toxicology*, 115, 115387. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2025.115387>
- Min, B. R., Barry, T. N., Attwood, G. T., & McNabb, W. C. (2003). The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 106(1–4), 3–19.
- Nábrádi, A., Madai, H., & Nagy, A. (2011). Animal husbandry in focus of sustainability. In M. Behnassi, S. A. Shahid, & J. D'Silva (Eds.), *Sustainable agricultural development* (pp. 225–233). Springer.
- Nave, R. L. G. (2025). Sustainable forage production in crop–livestock systems. *Agronomy*, 15(3), 657.
- Niyazi, B. A. M. (2018). Forage production and water use efficiency (WUE) of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) under drought stress as affected by silicon (Si) treatments. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 7, 32–38.
- Pandey, A. K., Kumar, P., & Saxena, M. J. (2019). Feed additives in animal health. In R. C. Gupta, A. Srivastava, & R. Lall (Eds.), *Nutraceuticals in veterinary medicine* (pp. 345–362). Springer.
- Papakonstantinou, G. I., Voulgarakis, N., Terzidou, G., Fotos, L., Giamouri, E., & Papatsiros, V. G. (2024). Precision livestock farming technology: Applications and challenges of animal welfare and climate change. *Agriculture*, 14(4), 620.

- Ramírez-Parra, E., & De la Rosa, L. (2023). Designing novel strategies for improving old legumes: An overview from common vetch. *Plants*, 12(6), 1275.
- Saefullah, E., Kenedi, K., & Khaerudin, D. (2024). Reducing greenhouse gas emissions in beef cattle farming through the implementation of animal welfare principles as part of sustainable rural area development. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(4), 1468–1476.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T. D., Castel, V., & De Haan, C. (2006). *Livestock's long shadow: Environmental issues and options*. Food and Agriculture Organization (FAO).
- Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012). Heavy metal toxicity and the environment. In P. B. Tchounwou (Ed.), *Molecular, clinical and environmental toxicology: Volume 3: Environmental toxicology* (pp. 133–164). Springer.
- Theodoridou, D., Aufrère, J., Andueza, D., Le Morvan, A., Picard, F., & Baumont, R. (2010). Effects of condensed tannins in fresh sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) on in vivo and in situ digestion in sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 160(1–2), 23–38.
- Umutoni, C., & Ayantunde, A. (2024). Awareness and use of improved livestock feed technologies among agro-pastoral households in the West African Sahel. *Tropical Animal Health and Production*, 56(6), 194.
- Van Eenennaam, A. L. (2025). Current and future uses of genetic improvement technologies in livestock breeding programs. *Animal Frontiers*, 15(1), 80–90.
- Wang, J., Deng, L., Chen, M., Che, Y., Li, L., Zhu, L., ... & Feng, T. (2024). Phytogenic feed additives as natural antibiotic alternatives in animal health and production: A review of the literature of the last decade. *Animal Nutrition*, 17, 244–264.
- Windisch, W., Schedle, K., Plitzner, C., & Kroismayr, A. (2008). Use of phytogenic products as feed additives for swine and poultry. *Journal of Animal Science*, 86(Suppl 14), E140–E148.
- Wróbel, B., Waldemar, Z., & Anna, P. J. (2025). Improving forage quality from permanent grasslands to enhance ruminant productivity. *Agriculture*, 15(13), 1438.

- Zain, M. E. (2011). Impact of mycotoxins on humans and animals. *Journal of Saudi Chemical Society*, 15(2), 129–144.
- Zhang, Z., Li, F., Li, F., Wang, Z., Guo, L., Weng, X., Sun, X., He, Z., Meng, X., Liang, Z., & Li, X. (2025). Influence of dietary forage neutral detergent fiber on ruminal fermentation, chewing activity, nutrient digestion, and ruminal microbiota of Hu sheep. *Animals*, 15(3), 314.

BÖLÜM 14
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK PERSPEKTİFİNDE OTLATMA
ALANLARINDA ZEHİRLİ BİTKİLER VE KLİNİK
YANSIMALARI

Dr. Öğr. Üyesi Pınar PORTAKAL¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17738353>

¹ Çankırı Karatekin Üniversitesi, Gıda ve Tarım MYO, Tarla Bitkileri Programı, Çankırı, Türkiye. pinarportakal@karatekin.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-5994-5872

1. GİRİŞ

Bitkiler, yeryüzündeki yaşamın sürdürülmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Ekosistemlerin temel bileşenleri olarak fotosentez yoluyla oksijen üretir, besin zincirinin ilk halkasını oluşturur ve hem insan hem de hayvan beslenmesi için temel kaynak sağlarlar. Ayrıca birçok bitki, geleneksel ve modern tıbbın hammaddesi konumundadır (Petrovska 2012; Jamshidi-Kia vd. 2018). Ancak bu hayati rollerinin yanında, bazı bitkiler metabolizmaları sonucu ürettikleri sekonder metabolitler aracılığıyla zehirli bileşikler içerir ve bu bileşikler hayvanlar ile insanlar için toksik etkilere neden olabilir (Alaca ve Arslan 2012). Özellikle otlatma alanlarında bu tür bitkilerin varlığı hem hayvan sağlığı hem de hayvansal üretim açısından ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Bu nedenle, zehirli bitkiler konusu en çok çayır ve meralar bağlamında önem kazanmaktadır. Çayır ve meralar yalnızca çiftlik hayvanları için temel kaba yem kaynağı değil aynı zamanda su ve toprak kaynaklarının korunması, genetik çeşitliliğin sürdürülmesi ve yaban hayatı için yaşam alanı sağlama gibi birçok ekolojik işlevi üstlenirler (Abdisa ve Dinbiso 2024). Ancak bu alanlarda bulunan zehirli bitkiler, hayvancılık endüstrisinde ciddi ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Bu kayıplar; hayvan ölümleri, kilo kaybı, üreme sorunları (abortus, infertilite) ve verimlilikte azalma gibi doğrudan kayıplar ile, tedavi masrafları ve ilave yem temini gibi dolaylı kayıplar şeklinde iki ana grupta toplanabilir. Nitekim dünya genelinde zehirli bitkilerden kaynaklanan ekonomik kayıpların milyarlarca dolar düzeyinde olduğu bildirilmektedir (Dong vd. 2025).

Zehirli bitkilerin toksik etkileri, içerdiği kimyasal gruplara göre farklılık gösterir. Alkaloidler nörotoksik etkiler ve salgı sistemi bozuklukları oluşturabilir, glikozitler (ör. siyanojenik veya kardiyak glikozitler) ani ölümlerle sonuçlanabilir, tanen ve reçineler sindirim ve metabolizma üzerinde olumsuz etkiler gösterebilir (Wink 2015). Bu toksinlerin klinik yansımaları, karaciğer hasarı, sinir sistemi bozuklukları (tremor, felç), fotosensitizasyonla deride lezyonlar ve üreme sistemi üzerinde kanama veya abortus gibi çok geniş bir spektrumu kapsamaktadır.

Zehirlenme olaylarının görülmesi çoğunlukla mera yönetim pratikleri ile ilişkilidir. Hayvanlar içgüdüsel olarak birçok zehirli bitkiden kaçınsa da aşırı otlatma, kuraklık, yem kıtlığı veya mera dengesinin bozulması gibi durumlarda bu bitkilerin tüketimi artar. Ayrıca zehirli bitki parçalarının saman, silaj veya kuru otlara karışması da zehirlenme riskini yükseltir (Abdisa ve Dinbiso 2024).

Toksitenin şiddeti, bitkinin gelişim evresi, toksin yoğunluğu, tüketilen miktar, hayvanın yaşı, türü ve beslenme durumu gibi birçok faktöre bağlıdır. Özellikle bölgeyi tanımayan sürüler ile deneyimsiz genç hayvanlarda, zehirli bitkileri ayırt edememe nedeniyle zehirlenme vakaları daha sık görülmektedir. Bu durum, mera yönetimi pratiklerinin zehirlenme olaylarının kontrolünde belirleyici olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla sürdürülebilirlik perspektifi öne çıkmaktadır. Sadece mera sağlığını korumayı değil, aynı zamanda onarımı (ıslahı) hedefleyen bütüncül otlatma yaklaşımları (ör. Bütüncül Planlı Otlatma, BPO), hem hayvan sağlığını korumak hem de mera ekosistemlerini uzun vadeli olarak sürdürülebilir kılmayı amaçlamaktadır (Hawkins 2017; Hillenbrand vd. 2019; Stanley vd. 2024). Bu bölüm, zehirli bitkilerin ekolojik yayılımını, klinik ve ekonomik etkilerini değerlendirerek, onarıcı mera yönetim stratejilerinin sürdürülebilir hayvancılık için sağlayabileceği katkıları ortaya koymayı amaçlamaktadır.

2. OTLATMA ALANLARINDA ZEHİRLİ BİTKİLERİN EKOLOJİK ÖNEMİ

Çayır ve meralar, yalnızca çiftlik hayvanları için temel kaba yem kaynağı değil aynı zamanda yaban hayatının korunması, genetik çeşitliliğin sürdürülmesi, toprak verimliliğinin artırılması ve su kaynaklarının düzenlenmesi gibi pek çok ekolojik işlev üstlenen doğal bitki örtüleridir (Havstad vd. 2007; Bengtsson vd. 2019). Türkiye, yaklaşık 12.000 bitki türü ile dünyanın en zengin floralarından birine sahiptir ve bunların yaklaşık %32'si endemiktir (Duman vd. 2024; Sohrabi vd. 2025). Zehirli bitkiler de bu çeşitliliğin doğal bileşenleri arasında yer almakta ve ekosistem dengesi açısından önemli roller üstlenmektedir (Noroozi vd. 2019). Ancak uzun yıllar boyunca mera amenajman kurallarına uyulmaması, aşırı ve düzensiz otlatma gibi yanlış uygulamalar, meraların klimaks vejetasyon yapısından uzaklaşmasına neden olmuş; bunun sonucunda ise hayvanların tüketmekten kaçındığı ve bir kısmı toksik bileşikler içeren türler yaygınlaşmıştır. Zehirli bitkilerin kontrolsüz çoğalması, mera ekosistemlerinde bozulmanın en önemli göstergelerinden biridir (Eldridge vd. 2016).

Bu türlerin yaygınlaşması genellikle yanlış yönetim pratiklerinin bir sonucu olarak görülmektedir. Ağır ve zamansız otlatma, arzu edilen yem bitkilerinin azalmasına ve yerlerini toksik bileşikler içeren istilacı türlere

bırakmasına yol açar. Nitekim Kırşehir meralarında yapılan bir çalışmada, tespit edilen türlerin %88,3'ünün yabancı ot karakterli olduğu, bu grubun önemli bir bölümünü de zehirli bitkilerin oluşturduğu bildirilmiştir (Yavuz ve Yüce 2023). Bunun yanı sıra kuraklık, yem kıtlığı ve iklimsel dalgalanmalar, dayanıklı yapıları sayesinde zehirli türlerin hızla çoğalmasına zemin hazırlar. Bazı zehirli bitkiler ilkbaharda diğerlerinden daha erken gelişir ve uygun yönetim yapılmadığında hayvanların otlamak zorunda kaldığı ilk bitkiler haline gelir. Ayrıca bu bitkilerin tohumlarının sindirim sisteminden bozulmadan geçerek dışkıyla yeni alanlara taşınması da yayılımlarını kolaylaştırmaktadır (Dönmez ve Hatipoğlu 2020).

Zehirli bitkilerin toksik etkileri yalnızca varlıklarıyla sınırlı değildir; ekolojik koşullara bağlı olarak toksisite düzeyleri de değişkenlik gösterir. Bu bitkiler çoğunlukla alkaloidler, glikozitler, fenolik bileşikler ve fotosensitizan maddeler gibi sekonder metabolitler içerir (Nwaji vd. 2022). Alkaloidler sinir sistemi üzerinde güçlü nörotoksik etkilere sahiptir. Glikozitler, bitkinin gelişim evresi ve ekolojik koşullara göre miktarları değişen bileşiklerdir; gevişenlerde rumen mikroflorası tarafından hidrolize edilerek hidrosiyanik asit (HCN) gibi son derece toksik bileşiklere dönüşebilir. Kardiyak glikozitler kalpte ciddi ritim bozukluklarına neden olurken, pirrolizidin alkaloidleri kronik maruziyetlerde karaciğer hasarı, verim kaybı, zayıflama ve ikincil fotosensitizasyona yol açar. Bu bileşikler ayrıca mutajenik ve karsinojenik etkilere de sahiptir (Alaca ve Arslan 2012; Hussain vd. 2018; Adibah ve Azzreena 2019; Petit vd. 2024). Bitkinin yaşam evresi, iklim, toprak yapısı ve mevsim de toksisite şiddetini doğrudan etkiler. Örneğin, *Hypericum perforatum* (sarı kantaron) tüm vejetasyon süresince toksik iken *Delphinium* türleri yalnızca ilkbahar sonu ve yaz başında zehirlidir. Benzer şekilde *Conium maculatum* (baldıran) alkaloid düzeyi, olgunlaşma evresi ve çevresel koşullara bağlı olarak değişir (Koçyiğit vd. 2023).

Zehirli bitkilerin yayılımı çoğu zaman ekosistemdeki yönetim hatalarının bir sonucu olduğundan çözüm yalnızca bu türlerle mücadeleye indirgenemez. Bütüncül ve onarıcı otlatma yaklaşımları hem mera sağlığını korumayı hem de bozulan ekosistemleri onarmayı hedefler. Bu anlayışta hayvancılık, ekosistemin düşmanı değil tam tersine, onarım sürecinin bir aracı olarak kabul edilmektedir (Savory ve Butterfield 2016). Doğru otlatma yönetimiyle toprak su tutma kapasitesi ve organik madde miktarı artırılabilir, çıplak toprak oranı

azaltılabilir ve biyokütle döngüsü iyileştirilebilir (Meléndez-Aldana vd. 2025). Biyokütle, ekosistemde canlı organizmaların (bitki ve hayvanların) toplam organik madde miktarını ifade eder. Hayvanların yoğun ve kısa süreli otlatma sırasında toprağa bastırdığı ölü bitki materyali, biyokütlenin toprağa karışmasını sağlar, çürüme sürecini hızlandırır ve yeni bitki gelişimini teşvik eder. Organik maddenin toprağa karışması, toprağın gözenekliliğini artırarak suyun daha kolay tutulmasına ve infiltrasyon kapasitesinin yükselmesine yol açar. Böylece mera, hem kuraklığa karşı daha dayanıklı hale gelir hem de verimliliğini uzun vadede korur. Ayrıca, kültürel ve mekanik mücadele yöntemleri (örneğin aç hayvanların meraya çıkarılmaması, keçi gibi seçici otlayan türlerin kullanılması, sık köklü bitkilerin elle sökülmesi) entegre yönetim açısından önemlidir (Xu vd. 2018; Milazzo vd. 2023).

3. BAŞLICA ZEHİRLİ BİTKİLER VE TOKSİNLERİ

Zehirli bitkilerin hayvan sağlığı üzerindeki etkileri, bitkilerin doğal savunma mekanizmaları olarak ürettikleri sekonder metabolitler aracılığıyla ortaya çıkar. Bu nedenle hangi türlerin tehlike oluşturduğunu, toksinlerinin hangi koşullarda etkili olduğunu ve hangi hayvan gruplarında risk yarattığını bilmek sürdürülebilir hayvancılık açısından kritik önemdedir (Riet-Correa vd. 2023; Abdisa ve Dinbiso 2024).

Bitkisel toksinler başlıca alkaloidler, glikozitler (kardiyak ve siyanogenetik), glukosinolatlar, fenolik bileşikler (ör. tanenler), fotosensitizan maddeler, östrojenik bileşikler ve vitamin-mineral metabolizmasını bozan maddeler olarak sınıflandırılabilir. Toksisitenin şiddeti; bitkinin gelişim evresi, içerdiği kimyasalların oranı, tüketilen miktar, otlatılan hayvanın türü ve yaşı gibi faktörlere bağlıdır. Ayrıca mevsim, iklim ve toprak yapısı da zehirlilik düzeyini etkiler (Nagy vd. 2023; Abdisa ve Dinbiso 2024).

Alkaloidler, azot içeren bazık yapıları bileşiklerdir. Sinir ve salgı sistemini etkileyerek koordinasyon bozukluğu, titreme, felç ve ani ölümlerle sonuçlanabilen tablolar oluşturur. Örneğin; *Conium maculatum* (baldıran) içerdiği koniinin nedeniyle nöromüsküler iletimi engelleyerek solunum felcine yol açar. At ve sığır gibi büyük hayvanlarda ölüm dozu oldukça düşüktür (Al-Snafi 2016; Nunes vd. 2025). *Aristolochia* türlerinde bulunan aristoloşisin, uterus kanamaları ve abortuslara neden olurken pirrolizidin alkaloidleri kronik maruziyette karaciğer hasarı ve ikincil fotosensitizasyona sebep olur.

Mutajenik ve karsinojenik etkileri vardır (Leiva-Forns vd. 2025). *Atropa belladonna* (güzelyaprak) ve *Datura stramonium* (boru çiçeği) gibi türlerdeki tropan alkaloidleri muskarinik reseptörlerde asetilkolin ile yarışarak ağız kuruluğu, pupilla genişlemesi ve felce yol açar. *Veratrum album* (akçöpleme) ise veratrum alkaloidleri aracılığıyla kardiyovasküler sistemi etkileyerek ritim bozuklukları ve solunum depresyonuna neden olur (Stegelmeier vd. 2024). *Aconitum* türlerinde bulunan akonitin alkaloidi de kardiyak aritmi, solunum felci ve sinirsel irritasyon ile karakterize toksik tablolar oluşturabilir (Abdisa ve Dinbiso 2024).

Glikozitler, zehirli bitkilerde önemli bir toksin grubunu oluşturur. *Nerium oleander* (zakkum) gibi türler kardiyak glikozitler içererek Na^+/K^+ -ATPaz enzimini inhibe eder ve ölümcül aritmilere neden olur. Klinik olarak kusma, karın ağrısı, koordinasyon bozukluğu ve ölüm görülebilir (Bilgili ve Hanedan 2022). Siyanogenetik glikozitler içeren *Trifolium repens* (beyaz üçgül) veya *Sorgum* türleri, hidrosiyanik asit (HCN) açığa çıkararak hızlı seyirli solunum güçlüğü ve ani ölümlere neden olabilir. *Solanum* türlerindeki solaninler kusma, ishal, salivasyon, ülseratif ağız yangısı ve zayıflama oluştururken teratojenik etkilere de yol açabilir (Gensa 2019).

Bunun dışında fenolik bileşiklerden tanenler, özellikle meşe yaprak ve palamutlarında yüksek oranda bulunur. Proteinleri çöktürerek sindirimi zorlaştırır. Kronik alımda karaciğer ve böbrek hasarı, iştahsızlık ve kabızlık/ishal döngüsü gibi tablolarla sonuçlanabilir (Collett 2019; Camacho vd. 2021). Reçineler, özellikle sütlegün (*Euphorbia* spp.) gibi bitkilerde (beyaz sütlü sıvı/lateks içinde) bulunur. Bu maddeler sinir ve kas dokusunda tahriş, halsizlik, çırpınmalar, ataksi (sendeleme) ve ağır vakalarda koma ve ölüme neden olabilir (Benjamaa vd. 2022). Fotosensitizan bileşikler taşıyan *Hypericum perforatum* (sarı kantaron) ve *Ruta graveolens* (sedefotu) ışığa duyarlılığı artırarak özellikle kılsız bölgelerde nekroz ve ikincil enfeksiyonlara yol açabilir (Li 2022).

Zehirli bitkilerin etkileri tür, toksin tipi ve hayvanın fizyolojik durumu gibi birçok faktöre göre değişmektedir. Klinik belirtiler çoğu zaman özgün olsa da farklı toksin gruplarında benzer semptomlar görülebilir. Bu nedenle veteriner hekimler için pratik sınıflandırmalar ve görsel özetler büyük önem taşır. Başlıca zehirli bitkiler, toksinleri ve hayvanlarda oluşturdukları klinik belirtiler Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1. Başlıca zehirli bitkiler, toksinleri ve klinik belirtileri

Bitki / Bitki Grubu	Toksin Türü	Klinik Belirtiler
<i>Conium maculatum</i> (Baldıran)	Koniin (alkaloid)	Kas güçsüzlüğü, felç, midriyazis, solunum felci ve ölüm
<i>Atropa belladonna</i> , <i>Datura stramonium</i> , <i>Hyoscyamus niger</i> (Güzelavrat otu, Boru çiçeği, Banotu)	Tropan alkaloidleri	Ağız kuruluğu, pupilla dilatasyonu, taşikardi, huzursuzluk, felç
<i>Veratrum album</i> (akçöpleme)	Veratrum alkaloidleri	Kardiyak ritim bozuklukları, salivasyon, kusma, felç
<i>Aconitum</i> türleri (Mavi kurtboğan vb.)	Akonitin	Solunum felci, ventriküler fibrilasyon, kas güçsüzlüğü
<i>Nerium oleander</i> (zakkum)	Kardiyak glikozitler	Aritmi, karın ağrısı, kusma, koordinasyon bozukluğu, ölüm
<i>Sorghum</i> spp., <i>Trifolium</i> (Sorgum, Beyaz üçgül)	Siyanogenetik glikozitler	Ani ölüm, solunum güçlüğü, kas tremoru
<i>Solanum</i> türleri (it üzümü vb.)	Solanin	Kusma, ishal, ülseratif ağız yangısı, zayıflama, teratojenik etki
<i>Quercus</i> türleri (Meşe)	Tanenler	İştahsızlık, kabızlık, karaciğer ve böbrek hasarı
<i>Euphorbia</i> spp. (Sütlegén)	Reçineler	Sinir ve kas dokusunda tahriş, halsizlik, sendeleme, zor nefes alma, koma, ölüm
<i>Hypericum perforatum</i> (sarı kantaron)	Hiperisin (fotosensitizan)	Fotosensitizasyon, deride ödem, kızarıklık, nekroz

4. ZEHİRLİ BİTKİ ZEHİRLENMELERİNİN KLİNİK YANSIMALARI VE TANI YÖNTEMLERİ

Zehirli bitkilerin hayvanlarda oluşturduğu klinik tablolar toksinin tipi, alınan miktar, hayvanın türü, yaşı, fizyolojik durumu ve çevresel faktörlere bağlı olarak büyük değişkenlik gösterir. Toksinler genellikle birden fazla organ sistemini etkileyerek çoklu klinik sendromlara neden olurlar. Örneğin, *Conium maculatum* (baldıran) içerdiği koniin alkaloidiyle nöromüsküler kavşakta iletimi engelleyerek kas güçsüzlüğü, felç ve solunum durmasına yol açarken (Hotti ve Rischer 2017), *Nerium oleander* (zakkum) kardiyak glikozitleri ile kalpte ciddi aritmilere ve ani ölümlere neden olur (Bai vd. 2022). Benzer şekilde *Veratrum album* (akçöpleme) veratrum alkaloidleri aracılığıyla kalp-damar sistemi, solunum sistemi ve sinir liflerini etkiler. Fotosensitizan

bileşikler içeren *Hypericum perforatum* (sarı kantaron) ve *Ruta graveolens* (sedefotu) ise doğrudan ışık alan kılsız bölgelerde şişme, kızarıklık, nekroz ve deride soyulma gibi lezyonlara yol açar (Collett 2019; Stegelmeier vd. 2024).

Klinik tablolar genellikle özgün semptomlarla karakterize olmakla birlikte çoğu zaman benzer belirtilerle seyredebilir. Bu nedenle tanıda yalnızca semptomlara güvenmek yeterli değildir. Anamnez, yani hayvanların bulunduğu alanın, tükettiği yem materyalinin ve otlatma koşullarının incelenmesi büyük önem taşır. Çevre incelemesiyle meradaki bitki örtüsü ve potansiyel toksik türler belirlenmeli, gerektiğinde sistematik toksikolojik analiz (STA) kapsamında kan biyokimyası, idrar ve rumen içerikleri değerlendirilmelidir (Stegelmeier vd. 2024).

Sağaltımda temel amaç, toksinin emilimini azaltmak ve vücuttan uzaklaştırmaktır. Kusabilen hayvanlarda kusturma veya gastrik lavaj uygulanabilir; en etkili yaklaşım ise aktif kömür uygulamasıdır. Genellikle magnezyum oksit, kaolin ve tannik asitle birlikte “üniversal antidot” formülasyonları kullanılmaktadır (Zellner vd. 2019). Bazı zehirlenmelerde çöktürücüler yararlıdır; örneğin alkaloid zehirlenmelerinde tanen içeren maddeler (çay, meşe kabuğu ekstresi) toksini bağlayabilir. Spesifik antidotlar sınırlıdır, ancak *Atropa* veya *Datura* zehirlenmelerinde fizostigmin, siyanogenetik glikozit zehirlenmelerinde ise sodyum tiyosülfat ve sodyum nitrit uygulanabilmektedir. Destekleyici tedavi kapsamında sıvı-elektrolit desteği, sedatifler ve solunum desteği kritik öneme sahiptir (Gensa 2019; Haritha vd. 2019).

Zehirlenme yönetiminde yanlış uygulamalardan da kaçınmak gerekir. Örneğin tanen zehirlenmelerinde tuzlu sürgüt verilmesi böbrek hasarını ağırlaştırabilir; bilinç kaybı olan hayvanlarda kusturma girişimi aspirasyon riskini artırır. Bu nedenle klinik müdahale, toksinin tipine ve hayvanın durumuna göre dikkatle planlanmalıdır (Zellner vd. 2019).

Klinik müdahalelerin yanı sıra koruyucu yaklaşımlar en az tedavi kadar önemlidir. Hayvanların aç olarak meraya çıkarılmaması, zehirli bitki yoğunluğu yüksek alanların çitle çevrilmesi veya sınırlandırılması, yeni sürülerin kontrollü adaptasyonu ve çiftçilerin toksik bitkiler konusunda eğitilmesi sahada uygulanabilecek en etkili önlemler arasındadır. Aksi halde, tekrarlayan zehirlenmeler hem hayvan refahını hem de üretim ekonomisini olumsuz etkiler. Nitekim bitkisel zehirlenmeler; hayvan ölümleri, verim kaybı,

tedavi masrafları ve ilave yem temini nedeniyle milyarlarca dolarlık ekonomik kayıplara yol açmaktadır (Abdisa ve Dinbiso 2024).

Son yıllarda zehirli bitkilerin yalnızca klinik açıdan değil ekolojik açıdan da bir ekosistem bozulmasının göstergesi olduğu görüşü ön plana çıkmaktadır. Yani toksik bitkilerin yayılması, çoğunlukla yanlış mera yönetiminin bir sonucu olarak değerlendirilir. Aşırı otlatma, çoğu zaman hayvan sayısından değil, bitkilerin kendini yenilemeden tekrar otlatılmasından kaynaklanır. Bu nedenle sürdürülebilirlik odaklı BPO gibi yaklaşımlar hem klinik zehirlenme risklerini azaltmak hem de mera ekosistemlerinin onarımını sağlamak için kritik bir çözüm sunmaktadır (Savory ve Butterfield 2016; Stegelmeier vd. 2024).

5. SONUÇ ve GELECEK PERSPEKTİFİ

Bu kitap bölümü, otlatma alanlarında zehirli bitkilerin oluşturduğu sorunun yalnızca hayvan sağlığı üzerindeki klinik etkilerle sınırlı olmadığını, aynı zamanda ekonomik kayıpları artıran bir yönetsel ve ekolojik gösterge olduğunu ortaya koymuştur. Bitkisel toksinler (alkaloitler, glikozitler, fenolik bileşikler ve reçineler), hayvanlarda nörolojik bozukluklardan kardiyak aritmilere, karaciğer hasarından üreme kayıplarına kadar geniş bir yelpazede ciddi klinik tablolara yol açmaktadır.

Hayvanlar çoğu zaman zehirli bitkileri içgüdüsel olarak tanıyıp tüketmekten kaçınırlar da aşırı ve zamansız otlatma, yem kıtlığı ve çevresel stres koşulları zehirli türlerin yayılımını artırmakta ve hayvanları bu türleri tüketmeye zorlamaktadır. Zehirlenme riski; bitkinin olgunluk evresi, içerdiği toksin oranı, tüketilen miktar, hayvanın türü, yaşı ve beslenme durumu gibi çok sayıda faktöre bağlıdır.

➤ Sürdürülebilirlik Perspektifi

Sorunun çözümü yalnızca zehirli bitkilerle mücadeleye indirgenemez; asıl hedef ekosistem süreçlerinin onarımı olmalıdır. Bu noktada, BPO yaklaşımı öne çıkmaktadır. Aşırı otlatmanın kaynağı hayvan sayısı değil bitkilere toparlanma süresi tanımayan yanlış zamanlamadır. Doğru yönetimle:

- Meraların ıslahı sağlanabilir ve kaba yem maliyetleri düşürülebilir.
- Yabancı ot ve zehirli türlerin oranı kabul edilebilir düzeyde tutulabilir.
- Toprağın su tutma kapasitesi, organik madde miktarı ve biyoçeşitlilik artırılarak ekosistem sağlığı desteklenebilir.

➤ Gelecek Perspektifleri

Zehirli bitkilerle mücadelede uzun vadeli başarı, entegre bir klinik, ekolojik ve yönetsel altyapının güçlendirilmesini gerektirmektedir:

- Klinik Tanı ve Araştırma: Toksik bitkilerin kimyasal çeşitliliği göz önünde bulundurularak, STA protokollerinin geliştirilmesi, hızlı ve güvenilir teşhisin temelini oluşturacaktır.
- Yönetim ve Eğitim: Çobanların ve üreticilerin zehirli türleri tanınması, hayvanların aç olarak meraya çıkarılmaması ve sürü yoğunluğunun doğru planlanması, zehirlenme riskini büyük ölçüde azaltacaktır.
- Ekonomik ve Ekolojik Sürdürülebilirlik: BPO uygulamalarının yaygınlaştırılması hem mera verimliliğini hem de üretici kârlılığını artırarak hayvancılığın uzun vadeli devamlılığını sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Abdisa, T., & Dilbato Dinbiso, T. (2024). Toxic plants and their impact on livestock health and economic losses: A comprehensive review. *Journal of Toxicology*, 2024(1), 9857933. <https://doi.org/10.1155/jt/9857933>
- Adibah, K.Z.M., & Azzreena, M.A. (2019). Plant toxins: Alkaloids and their toxicities. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 6(2), 21–29.
- Alaca, F., & Arslan, N. (2012). Sekonder metabolitlerin bitkiler açısından önemi. *Ziraat Mühendisliği*, (358), 48–55.
- Al-Snafi, A.E. (2016). Pharmacology and toxicology of *Conium maculatum*—A review. *The Pharmaceutical and Chemical Journal*, 3(2), 136–142.
- Bai, X., Wang, G., Ren, Y., & Han, J. (2022). Detection of highly poisonous *Nerium oleander* using quantitative real-time PCR with specific primers. *Toxins*, 14(11), 776. <https://doi.org/10.3390/toxins14110776>
- Bengtsson, J., Bullock, J. M., Egoh, B., Everson, C., Everson, T., O'Connor, T., ... & Lindborg, R. (2019). Grasslands—More important for ecosystem services than you might think. *Ecosphere*, 10(2), e02582. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2582>
- Benjamaa, R., Moujanni, A., Kaushik, N., Choi, E.H., Essamadi, A.K., & Kaushik, N.K. (2022). *Euphorbia* species latex: A comprehensive review on phytochemistry and biological activities. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1008881. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1008881>
- Bilgili, A., & Hanedan, B. (2022). Çiftlik hayvanlarında zehirli bitkiler 1: *Astragalus* spp., *Oxytropis* spp., *Hypericum perforatum*, *Nerium oleander*, *Pteridium aquilinum*. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences*, 9(21), 1-7.
- Camacho, F., Stewart, S., & Tinson, E. (2021). Successful management of suspected acorn (*Quercus petraea*) toxicity in a dog. *The Canadian Veterinary Journal*, 62(6), 581.
- Collett, M. G. (2019). Photosensitisation diseases of animals: Classification and a weight-of-evidence approach to primary causes. *Toxicon: X*, 3, 100012. <https://doi.org/10.1016/j.toxcx.2019.10001>
- Dong, R., Wei, C., Dong, K., Cai, B., Cai, X., Chu, B., ... & Niu, Y. (2025). The expansion of native poisonous plants in degraded Tibetan pastures

- enhances plant diversity via soil-mediated processes. *Ecological Indicators*, 179, 114147. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.114147>
- Dönmez, H. B., & Hatipoğlu, R. (2020). Çayır-meralardaki zehirli bitkilerin etkileri ve hayvan zehirlenmelerine karşı önleyici tedbirler. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences*, 7(9), 49–55.
- Duman, H., Doğan, M., Atlı, Ö., & Celep, F. (2024). Ex situ and in situ conservation approaches in species-rich Anatolian steppe ecosystem: A case study from Ankara, Türkiye. *Ecologies*, 5(4), 664-678.
- Eldridge, D.J., Poore, A.G., Ruiz-Colmenero, M., Letnic, M., & Soliveres, S. (2016). Ecosystem structure, function, and composition in rangelands are negatively affected by livestock grazing. *Ecological Applications*, 26(4), 1273–1283.
- Gensa, U. (2019). Review on cyanide poisoning in ruminants. *Synthesis*, 9(6), 1–12.
- Havstad, K.M., Peters, D.P., Skaggs, R., Brown, J., Bestelmeyer, B., Fredrickson, E., ... & Wright, J. (2007). Ecological services to and from rangelands of the United States. *Ecological Economics*, 64(2), 261–268.
- Haritha, C., Khan, S., Manjusha, K., & Banu, A. (2019). Toxicological aspects of common plant poisoning in ruminants. *Indian Farmer*, 6(11), 812–822.
- Hawkins, H.J. (2017). A global assessment of Holistic Planned Grazing™ compared with season-long, continuous grazing: Meta-analysis findings. *African Journal of Range & Forage Science*, 34(2), 65–75.
- Hillenbrand, M., Thompson, R., Wang, F., Apfelbaum, S., & Teague, R. (2019). Impacts of holistic planned grazing with bison compared to continuous grazing with cattle in South Dakota shortgrass prairie. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 279, 156–168.
- Hotti, H., & Rischer, H. (2017). The killer of Socrates: Coniine and related alkaloids in the plant kingdom. *Molecules*, 22(11), 1962. <https://doi.org/10.3390/molecules22111962>
- Hussain, S.M., Herling, V.R., Rodrigues, P.H.M., Naz, I., Khan, H., & Khan, M.T. (2018). Mini-review on photosensitization by plants in grazing herbivores. *Tropical Animal Health and Production*, 50(5), 925–935.

- Jamshidi-Kia, F., Lorigooini, Z., & Amini-Khoei, H. (2018). Medicinal plants: Past history and future perspective. *Journal of Herbmед Pharmacology*, 7(1), 1–7.
- Kocyigit, E., Kocaadam-Bozkurt, B., Bozkurt, O., Ağagündüz, D., & Capasso, R. (2023). Plant toxic proteins: Their biological activities, mechanism of action and removal strategies. *Toxins*, 15(6), 356. <https://doi.org/10.3390/toxins15060356>
- Leiva-Forns, M., Cobos, À., Martino, L., Loscertales, S.I., Bosco, S., Serrano, B., ... & Segalés, J. (2025). Pyrrolizidine alkaloid intoxication outbreaks in fattening pigs associated with drought-related feed contamination. *Porcine Health Management*, 11(1), 1–8.
- Li, B. (2022). *Single-cell lipidomic analysis and cytotoxicity studies of microorganisms enabled by plasmonics-enhanced MALDI-MS* (Doctoral dissertation, University of California, Riverside).
- Meléndez-Aldana, M.A., Flores-Rentería, D., Ramírez, F.J.P., Huerta-Martínez, F.M., & Salcedo-Pérez, E. (2025). Assessing soil health under contrasting livestock grazing management systems and environmental conditions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 393, 109862. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2025.109862>
- Milazzo, F., Francksen, R.M., Abdalla, M., Ravetto Enri, S., Zavattaro, L., Pittarello, M., ... & Vanwalleghe, T. (2023). An overview of permanent grassland grazing management practices and the impacts on principal soil quality indicators. *Agronomy*, 13(5), 1366. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051366>
- Nagy, A.L., Ardelean, S., Chapuis, R.J., Bouillon, J., Pivariu, D., Dreanca, A. I., & Caloni, F. (2023). Emerging plant intoxications in domestic animals: A European perspective. *Toxins*, 15(7), 442.
- Noroozi, J., Zare, G., Sherafati, M., Mahmoodi, M., Moser, D., Asgarpour, Z., & Schneeweiss, G.M. (2019). Patterns of endemism in Turkey, the meeting point of three global biodiversity hotspots, based on three diverse families of vascular plants. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7, 159.
- Nunes, J., Pina, S., Oliveira, A.C., Moreno, J., & Pérez, P. (2025). Acute intoxication with poison hemlock (*Conium maculatum*). *Cureus*, 17(3).

- Nwaji, A.R., Arieri, O., Anyang, A.S., Nguedia, K., Abiade, E.B., Forcados, G. E., ... & Gotep, J.G. (2022). Natural toxins and one health: A review. *Science in One Health*, 1, 100013. <https://doi.org/10.1016/j.soh.2023.100013>
- Petit, R., Izambart, J., Guillou, M., da Silva Almeida, J.R.G., de Oliveira Junior, R. G., Sol, V., ... & Picot, L. (2024). A review of phototoxic plants, their phototoxic metabolites, and possible developments as photosensitizers. *Chemistry & Biodiversity*, 21(2), e202300494. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202300494>
- Petrovska, B.B. (2012). Historical review of medicinal plants' usage. *Pharmacognosy Reviews*, 6(11), 1. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.95849>
- Riet-Correa, F., Machado, M., & Micheloud, J.F. (2023). Plants causing poisoning outbreaks of livestock in South America: A review. *Toxicon: X*, 17, 100150. <https://doi.org/10.1016/j.toxcx.2023.100150>
- Savory, A., & Butterfield, J. (2016). *Holistic management: A commonsense revolution to restore our environment*. Island Press.
- Sohrabi, S., Yazlık, A., Bazos, I., Gherekhloo, J., Kati, V., Kitiş, Y.E., ... & Pyšek, P. (2025). Alien species of Ipomoea in Greece, Türkiye and Iran: distribution, impacts and management. *NeoBiota*, 97, 135-160.
- Stanley, P., Sayre, N., & Huntsinger, L. (2024). Holistic management shifts ranchers' mental models for successful adaptive grazing. *Rangeland Ecology & Management*, 93, 33-48.
- Stegelman, B.L., David, T.Z., Panter, K.E., Welch, K.D., & Knoppel, E.L. (2024). A review of intermittent poisoning to mitigate toxic plant-induced disease in livestock. *Veterinary Sciences*, 12(1), 13. <https://doi.org/10.3390/vetsci12010013>
- Wink, M. (2015). Modes of action of herbal medicines and plant secondary metabolites. *Medicines*, 2(3), 251-286.
- Xu, S., Jagadamma, S., & Rowntree, J. (2018). Response of grazing land soil health to management strategies: A summary review. *Sustainability*, 10(12), 4769. <https://doi.org/10.3390/su10124769>
- Yavuz, T., & Yüce, S. (2023). Kırşehir mera vejetasyonlarında yaygın olarak bulunan zehirli bitki türleri. *Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3(2), 297-312.

Zellner, T., Prasa, D., Färber, E., Hoffmann-Walbeck, P., Genser, D., & Eyer, F. (2019). The use of activated charcoal to treat intoxications. *Deutsches Ärzteblatt International*, 116(18), 311.
<https://doi.org/10.3238/arztebl.2019.0311>

BÖLÜM 15

BİTKİSEL ÜRETİMDE ABİYOTİK STRES KOŞULLARINA KARŞI SİLİSYUMUN ETKİSİ

Doç. Dr. Halil SAMET¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17738614>

¹Kocaeli Üniversitesi, İzmit Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Kocaeli, Türkiye. halil.samet@kocaeli.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-2376-7944

1. GİRİŞ

Silisyum (Si), yerkabuğunda oksijenden sonra en fazla bulunan ve yerkabuğunun yaklaşık %28'ini oluşturur. Ancak topraktaki Si kaynaklarının çoğu, çözünmeyen ve bitkiler tarafından doğrudan alınamayan kristal alüminyum silikatlar halinde bulunur (Richmond ve Sussman 2003). Bitki köklerinin kolayca alabildiği form bir monosiklik asit olan hidrojen silikat (H_4SiO_4) formudur ve toprak çözeltisi içinde 0,1 ile 0,4 mM arasında değişen konsantrasyonlarda bulunur. Epstein (1999) bu silikat miktarının, toprak çözeltisindeki fosfor konsantrasyonundan yaklaşık iki katından fazla olduğunu rapor etmiştir. Bitki bünyesinde de kuru ağırlığın %0,1 ile %10 arasında değişen miktarda Si bulunur (Ma vd. 2002).

Silisyum topraklarda ve bitkilerde yüksek oranlarda bulunmasına rağmen, mutlak gerekliliği yeterince kanıtlanmadığı için “faydalı elementler” sınıfında değerlendirilmiştir (Epstein 1999). Topraklı tarımda bitkilerde noksanlığı da pek görülmez. Çünkü bitki kökleri büyüme ortamında yeterli Si ‘a ulaşabilir. Ayrıca Si, çöl tozları ile uzak mesafelere taşınarak toprakları zenginleştirir. Ancak, atkuyruğu ve çeltik gibi Si akümülatör bitkilerde Si eksikliğinin, mantar enfeksiyonlarına karşı duyarlılığı artırdığı görülmüştür (Law ve Exley 2011). Topraksız tarımda ise Epstein (1994) modifiye edilmiş Hoagland çözeltisine 1 mM sodyum silikat (Na_2SiO_4) eklenmesini önermiştir.

Son araştırmalar Si’un bitkiler için aşağıdaki faydalarının olduğunu göstermektedir (Liang vd. 2015): a) özellikle diyatome (fitoplankton) atkuyruğu, kamış gibi bitkiler için mutlak gereklilik, b) büyüme, verim ve kalite için gerekli, c) yatmaya karşı direncin artırılması, d) ışıktan yararlanmayı artırarak fotosentetik kapasitenin artırılması, e) biyotik (mantar, bakteri, virüs ve nematod zararı) ve abiyotik (metal toksisitesi, tuzluluk, kuraklık, vb.) stres koşullarına direnç, f) enzim aktivitesi üzerine olumlu etkileri.

Silisyum rizosfer bölgesine silisik asit olarak verildiğinde, bitkinin kuru madde miktarında ve abiyotik streslere karşı direnci artmasında önemli etkileri bulunmuştur (Azeem vd. 2015; Coskun vd. 2016). Si, bitki kökleri tarafından silisik asit $Si(OH)_4$ formunda alınır (Deshmukh vd. 2013, 2017).

2. SİLİSYUM ÜZERİNE YAPILAN ARAŞTIRMALAR

Alman kimyacı Liebig, Si ‘u şekerpancarının verimi üzerine etkilerini araştırmış ve verimi artırmak için Si kaynağı olarak sodyum silikatı (Na_2SiO_4)

önermesinden bu yana pek çok çalışma yapılmıştır. İngiltere’de 3 yıl süren tarla denemelerinde fosfor ve potasyum noksan topraklara uygulanan Na_2SiO_4 ciddi verim artışları sağlamıştır. Ancak fosfor ve potasyumun dengeli olduğu parsellerde bir etki göstermemiştir (Rothamsted Research, 2006). Son yıllarda silisyumun metal toksisitesine karşı bitkileri koruduğu hipotezi üzerine çok sayıda çalışma yürütülmüştür. Bu çalışmalarda, yüksek dozda alüminyuma (Al) (Wang vd. 2004), mangana (Mn) (Dragišić Maksimović vd. 2012) ve kadmiyuma (Cd) (Vaculík vd. 2012) maruz kalan bitkilerde Si ‘un önemli iyileştirici/önleyici etkileri olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca, hıyar (*Cucumis sativus* L.) bitkisinde Fe noksanlığı belirtilerini hafiflettiği, kök apoplastından demirin tekrar harekete geçirilmesinde ve ksilem iletim demetlerine yüklenmesinde olumlu etkileri olduğu bildirilmiştir (Pavlovic vd. 2013). Bunun yanında Si ‘un biriktirmeyen bir bitki olan domateste (*Solanum lycopersicum* L.) bakteriyel solgunluğun (Dannon ve Wydra 2004), çeltikte (*Oryza sativa* L.) bakteriyel yanıklığın (Xue vd. 2010) hafifletilmesinde etkili olduğu ifade edilmiştir. Fleck vd. (2011), Si ‘un çeltik bitkilerinde Reaktif Oksijen Türlerinin (ROT) oksidasyon gücünü azalttığı, böylece süberin oluşumu ve sklerenkima ligninleşmesini artırdığı sonucuna ulaşmışlardır.

3. ABİYOTİK STRES KOŞULLARI ve SİLİSYUM

3.1. Tuz Stresi ve Silisyum

Tarım topraklarının giderek tuzlanması, hem kıyı hem de iç bölgelerdeki tarımsal üretimi ciddi şekilde kısıtlayan başlıca toprak kaynaklı faktörlerden biridir ve bütün dünyada sürdürülebilir tarımın gelişimini tehlikeye sokmaktadır. Dünya yüzeyinin yaklaşık %7’sinin ve toplam ekilebilir alanın %20’sinin tuzluluktan olumsuz etkilendiği tahmin edilmektedir (Liang vd. 1996; Zhu ve Gong 2014; Rasool vd. 2013). Tuzlu toprakların ıslahında kullanılan en yaygın yöntem, bu topraklara aşırı sulama yaparak kök bölgesindeki tuzları toprak profilinin alt katmanlarına yıkamaktır. Ancak, bu yöntem, genellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde ya da kıyı alanlarında sınırlı tatlı su kaynaklarının yetersizliği ve sulama sularındaki yüksek tuzluluk nedeniyle çok pratik görülmemektedir (Liang vd. 1996).

Kök bölgesinde aşırı tuz birikimi (yüksek tuzluluk), bitki büyümesini, gelişimini ve ürün verimini önemli ölçüde azaltabilir. Bunun nedeni, stomaların kısmen kapanması sonucu CO_2 alımının sınırlandırılması, CO_2 fiksasyonunun

biyokimyasal mekanizmalarının bozulması veya her ikisiyle birlikte net asimilasyonun engellenmesi ile açıklanmaktadır. Ayrıca, tuz stresine maruz kalan bitkilerde elektron taşınması, fotofosforilasyon ve enzim aktiviteleri de etkilenebilmektedir (Fadzilla vd. 1997; Liang 1999; Steduto vd. 2000).

Silisyum ilavesi, tuz stresi altında yetişen bitkilerde;

- a) Fotosentetik aktiviteyi artırarak,
- b) Yaprak alanını genişleterek,
- c) Klorofil içeriğini yükselterek ve
- d) Kloroplast yapısını iyileştirerek bitkilerin tuz stresi ile baş etmesine yardımcı olmaktadır (Liang vd. 1996; Yeo vd. 1999; Zhu vd. 2004; Romero-Aranda vd. 2006; Tuna vd. 2008; Tahir vd. 2012; Haghighi ve Pessarakli 2013).

Liang vd. (2006) tuza duyarlı ve tuza toleranslı iki arpa çeşidinde yaptıkları çalışmada, Si ilavesinin her iki çeşitte de kuru madde miktarını önemli derecede artırdığını, ayrıca, tuza bağlı olarak azalan özgül yaprak alanını ve CO₂ asimilasyon hızını artırdığını rapor etmişlerdir.

Bir başka çalışmada Yeo vd. (1999), 50 mM NaCl içeren besin çözeltisinde yetiştirilen çeltik (*Oryza sativa*) bitkilerinde Si ilavesinin, tuza bağlı büyüme gerilemesini iyileştirdiği, CO₂ asimilasyon oranını ve stomatal iletkenliği artırdığını bildirmişlerdir.

İlginç bir şekilde domates (*Lycopersicon esculentum*) ve bakla (*Vicia faba*) gibi Si alımı düşük türlerde çalışan araştırmacılar, Si ilavesi ile tuz zararının azaltıldığını tespit etmişlerdir. Çalışmada, 80 mM NaCl + 2,5 mM Si uygulanması ile domates bitkilerinde bozulan stomatal iletkenlik, net CO₂ asimilasyon hızı ve terleme oranının geri kazanıldığını bildirmişlerdir (Romero-Aranda vd. 2006).

Yüksek tuz (100 mM NaCl) uygulanmış besin çözeltisinde yetiştirilen tuza duyarlı ve tuza toleranslı buğday (*Triticum aestivum*) çeşitlerinde klorofil içeriğinin ciddi şekilde azaldığını, ancak Si ilavesiyle önemli düzelmelerin görüldüğü sonucuna ulaşmışlardır (Tuna vd. 2008); Tahir vd. 2012).

Tuz Si interaksyonu çalışmalarındaki literatür bilgilerine göre Si 'un bitkilerde tuz stresini azaltıcı etkilerine özgü biyokimyasal ve moleküler süreçler hâlâ tam olarak anlaşılmamıştır. Gelecekte yapılacak çalışmaların özellikle iki temel konuya odaklanması gerekmektedir:

- a) Bitkiler tarafından alınan toplam Si 'un yalnızca küçük bir kısmı çözünür formda (*simplastik Si*) bulunmasına rağmen, bu formun birçok metabolik fonksiyonda aktif rol oynayıp oynamadığı doğrudan ve ikna edici kanıtlarla gösterilmelidir.
- b) *H⁺-ATPaz ve H⁺-PPaz aktiviteleri*: Si 'un bu proton pompası enzimlerinin aktivitelerini nasıl uyardığı ve bunun sonucunda toksik tuz iyonlarının (Na⁺, Cl⁻) vakuollerde bölünlenmesine katkı sağlayıp sağlamadığı açıklığa kavuşturulmalıdır. Böyle bir mekanizma doğrulanabilirse, Si 'un iyonik homeostazın korunması ve tuz toleransının güçlendirilmesi konusundaki rolü daha net biçimde anlaşılacaktır.

Yukarıda tartışıldığı üzere, *Si 'un bitkilerde tuz stresini etkili biçimde hafifletebildiği* sonucuna varılmaktadır. Ancak, bu etkinin arkasındaki *biyokimyasal, fizyolojik ve moleküler mekanizmalar* hâlâ tam olarak çözülmemiştir ve kapsamlı sera ve tarla çalışmalarına ihtiyaç vardır.

Sonuç olarak Si, bitkilerde tuz stresine karşı koruyucu bir rol oynar. Bu koruyucu etkileri:

- a) Fotosentetik kapasiteyi artırarak,
- b) Su kullanım verimliliğini ve osmotik dengeyi düzenleyerek,
- c) Na⁺ alımını baskılayıp K⁺ alımını teşvik ederek,
- d) Besin elementlerinin dengeli taşınmasını sağlayarak
- e) Antioksidan savunma sistemlerini güçlendirerek,
- f) Zar bütünlüğünü koruyarak,
- g) Stres toleransını artırarak (prolin, lignin ve hormon metabolizmasını düzenleme etkisi) gösterir.

Dolayısıyla Si 'un, bitkilerde fizyolojik ve biyokimyasal tamponlayıcı olarak işlev yaptığı, tuz stresine karşı çok yönlü bir savunma mekanizması oluşturduğu söylenebilir.

3.2. Kadmiyum Toksisitesi ve Silisyum

Kadmiyum (Cd) metabolizmada biyolojik fonksiyonlar için gerekli bir element değildir ve fazlası insan, hayvan ve bitkiler için toksik etkilere sahiptir (Song vd. 2009). Diğer ağır metallerle karşılaştırıldığında 2-20 kat daha fazla toksik etki gösterir. Bitkiler, Cd 'un neredeyse tamamını (%90) kökler vasıtasıyla topraktan alırlar. Ancak endüstri bölgeleri ve otoyol, şehirlerarası

yollar, vb. yoğun trafiğe maruz kalan bölgelerde yetişen bitkiler havadan da önemli oranda Cd (yaklaşık %40) alabilmektedir. Genelde bitkilerin Cd içeriği kuru ağırlık esasına göre $<0,5$ mg/kg'dır. Bu ortalama değer bitki türüne bağlı olarak büyük değişiklik gösterebilir. Örneğin bezelye, fasulye, lahana, patates ve sebzelerde genel olarak düşük miktarlarda; kereviz, yeşil lahana, ıspanak ve kıvrıkcık salatada yüksek miktarlarda Cd bulunmaktadır (Özbek vd. 1995).

Topraklarda 3 mg/kg'dan daha fazla Cd bulunduğunda bitkiler için toksik etkiler başlar ve bitki kökleri ile alınan Cd, bitki bünyesinde birikir ve protein sentezi, azot ve karbonhidrat metabolizması, enzim (nitrat redüktaz) aktivasyonu, fotosentez ve klorofil sentezi gibi birçok metabolik aktivitenin bozulmasına neden olmaktadır. Yapılan çalışmalar, bitki dokularında biriken yüksek Cd konsantrasyonu Fe, Mg ve Ca eksikliğine neden olduğunu (Welch 1995) ve klorofil içeriği üzerine olumsuz etkiler yaptığını (Feng vd. 2010) göstermiştir. Bunun yanında, bitki büyümesini ve solunumun engellenmesi; çekirdek, kloroplast ve mitokondri gibi hücrenin asal bileşenlerine zarar verdiği; temel enzimlerin aktivitesini ve miktarını azalttığı da bildirilmiştir (Nwugo ve Huerta 2008; da Cunha ve do Nascimento 2009; Song vd. 2009).

Son yıllarda, Si 'un Cd toksisitesi belirtilerini önemli ölçüde azaltabileceğini ve yüksek bitkilerin büyümesini ve gelişimini iyileştirebileceğini gösteren kanıtlar sunulmuştur.

Liang vd. (2005), toksik Cd dozuna maruz kalan mısır yapraklarında kloroz, yaprak kıvrılması ve bodurluk gibi tipik toksisite belirtileri gözlemlenmişler ve kuru ağırlıkta da önemli azalmalar olduğunu, ancak, Si ilavesi ile bu olumsuzlukların önemli ölçüde hafiflediğini, kök büyümesinde önemli artışlar olduğunu bildirmişlerdir. Nwugo ve Huerta (2011), Cd toksisitesinden olumsuz etkilenen ve fotosentetik kapasitede, su ve ışık kullanım etkinliği üzerine olumsuz etkilenen çeltik fidelerinde, köklenme ortamına ilave edilen Si ile önemli düzeltilmeler olduğunu rapor etmişlerdir. Bir diğer çalışmada Feng vd. (2010), hıyarda yaygın olarak görülen Cd toksisitesi belirtilerinin, Si uygulamasıyla önemli ölçüde önlendiği sonucuna ulaşmışlardır.

Sonuç olarak, Si 'un Cd toksisitesine karşı koruyucu etkisi hem fiziko-kimyasal (iyon immobilizasyonu, kompleksleşme, vb.) hem de biyokimyasal (antioksidan savunma, gen ekspresyonu değişimi) mekanizmalar aracılığıyla

gerçekleşmektedir. Bu nedenle Si, Cd ile kirlenmiş tarım alanlarında biyoteknolojik veya agronomik bir strateji olarak kullanılabilir.

3.3. Alüminyum Toksisitesi ve Silisyum

Alüminyum (Al), kil mineralinin ana bileşeni olan metalik bir elementtir. Düşük pH değerlerinde toprakta fazla miktarlarda çözünerek kök ve gövde büyümesini azaltır, besin maddesi alımını ciddi şekilde engeller. Bu durum daha çok tropikal ve subtropikal bölgelerdeki aşırı aşınmış asitli topraklarda görülür. Son yıllarda Si 'un bitkilerdeki Al toksisitesi üzerindeki olası etkileri kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır.

Bitkilerde Al hasarına karşı Si'un etkilerine ilişkin veriler türden türe ve hatta genotipten genotipe farklılıklar göstermektedir. Kidd vd. (2001) üç farklı mısır (*Zea mays*) varyetesi üzerinde yaptıkları çalışmada, Si uygulamasının Al toksisitesini zamana bağlı olarak hafiflettiği sonucuna ulaşmışlardır. Bir diğer çalışmada Zhang vd. (2009), baklagiller familyasından *Stylosanthes* cinsine ait beş farklı çeşitte Si ön uygulaması ve sürekli Si uygulaması yapmışlar ve Al+Si uygulanan bitkilerde Al 'un sebep olduğu kök uzamasını engelleyici etkilerin büyük ölçüde ortadan kalktığını bildirmiştir. Yapılan araştırmalarda A tosisitesine karşı Si 'un yararlı etkilerinin Si kaynağına (Morikawa ve Saigusa, 2002) ve kullanılan Al ve Si konsantrasyonlarına göre (Liang vd. 2001) değişiklik gösterdiği bildirilmiştir.

Sonuç olarak, Si 'nin Al toksisitesine karşı koruyucu etkisi, i) çözeltideki kimyasal etkileşimler (örneğin Al-Si kompleksleşmesi), ii) bitki içi fizyolojik mekanizmalar (örneğin hücre duvarı etkileşimi, kök uzama tepkileri) aracılığıyla ortaya çıkar. Ayrıca Si, Al 'un hücre duvarı üzerindeki zararlı etkilerini sınırlayarak kök büyümesini koruyabilir ve Al ile Si 'un birlikte çökeltisi (alümino silikat kompleksleri) kök dokularında oluşarak Al 'un toksik etkisini azaltabilir.

3.4. Arsenik Toksisitesi ve Silisyum

Arsenik (As), doğada yaygın olarak bulunan ve yüksek toksisiteye sahip olan bir elementtir. Toprakta genellikle arsenat [As(V)] veya arsenit [As(III)] formunda bulunur. Bitkiler arsenatı fosfat taşıyıcıları aracılığıyla, arseniti ise akvaporinler veya Si taşıyıcıları (örneğin *Lsi1* ve *Lsi2*) aracılığıyla alabilir. Bu nedenle As, özellikle çeltik gibi sucul bitkilerde, Si ile taşınma yollarını

paylaşır ve bu durum Si 'un As toksisitesine karşı potansiyel koruyucu rolünü açıklayabilir (Ma vd. 2008; Liang vd. 2015). Tripathi vd. (2013), arsenite maruz kalmış çeltik bitkisinde Si uygulaması H_2O_2 , MDA ve membran geçirgenliğini düşürdüğü, buna karşılık SOD, CAT ve APX aktivitelerini artırdığı sonucuna ulaşmışlardır.

Si 'un As toksisitesini hafifletici mekanizması birçok açıdan değerlendirilebilir:

- a) As taşınmasının engellenmesi: Öncelikle Si, *Lsi1/Lsi2* taşıyıcıları üzerinden arsenit ile rekabete girerek As alımını azaltır. Ayrıca Si, kök epidermisinde As ile birlikte Si-As kompleksleri oluşturarak As'ın hareketliliğini düşürür.
- b) Kök birikiminin artırılması ve sürgün taşınımının engellenmesi: Si, As 'ın ksileme taşınmasını sınırlandırarak yaprakta toksik birikimini önler.c.)
- c) Antioksidan savunma sisteminin güçlendirilmesi: Si, oksidatif stresle ilişkili enzimlerin aktivitesini artırır (SOD, CAT, APX). Bunun yanında, Lipid peroksidasyon ürünleri (MDA) azalır.
- d) Hücre duvarı ve apoplast bariyerinin güçlenmesi: Si, kök eksodermisinde silikat-lignin-süberin kompleksleri oluşturarak As girişini sınırlar.
- e) Moleküler düzeyde etki: Si uygulaması, *Lsi1/Lsi2* taşıyıcı genlerinin ekspresyonunu modüle eder. Ayrıca As ile indüklenen stres genlerinin (örneğin *MT*, *PCSI*, *APXI*) transkripsiyonel yanıtını düzenler.

Sonuç olarak, Si, As toksisitesine karşı çoklu koruyucu etki mekanizmalarına sahiptir. Kısaca, As taşınmasını azaltır, oksidatif hasarı sınırlar, antioksidan savunmayı güçlendirir ve hücre duvarı bariyerlerini kalınlaştırır. Böylece Si, As etkisine maruz kalmış topraklarda sürdürülebilir detoksifikasyonu sağlayabilir.

3.5. Krom Toksisitesi ve Silisyum

Krom (Cr) birçok endüstri alanında geniş bir kullanım alanına sahiptir ve yüksek toksiklik düzeyine sahip bir elementtir. Topraklarda Cr kirliliği, madencilik, endüstriyel faaliyetler, metal içeren kimyasal gübrelerin ve pestisitlerin tekrarlı kullanımı, kanalizasyon çamurları ve bulaşık atık sularla

sulama, vb. insan kaynaklı faaliyetlerin bir sonucudur (Zayed ve Terry 2003). Cr 'un oksidasyon durumu, bitkiler tarafından alınmasını ve fitotoksik etkilerini belirler. Cr 'un Cr(III), Cr(IV) ve Cr(VI) olmak üzere üç temel oksidasyon durumu bulunur. Bunların tümü bitkiler için fitotoksiktir; ancak Cr(VI), tüm canlı organizmalar için son derece toksiktir (Yıldız vd. 2011; Liang vd. 2015).

Yapılan çalışmalar bitkilerin aşırı Cr 'a maruz kaldıklarında;

- a) Tohum çimlenmesi ve bitki büyümesi baskılanır,
- b) Besin ve su dengesi bozulur,
- c) Fotosentetik pigmentler parçalanır, Mitokondriyal elektron taşıma zinciri inaktive olur,
- d) Antioksidan savunma enzimlerinin aktiviteleri azalır (Dixit et al. 2002; Shanker et al. 2005; Panda 2007).

Ouyang vd. (2011), 100 μ M Cr uygulanan çeltik bitkilerine hidroponik şartlarda 1,25 ve 2,5 mM Si uygulamışlar ve Cr kaynaklı stresin sebep olduğu bitki boyunu ve kuru madde miktarını önemli ölçüde iyileştirdiğini belirtmişlerdir. Benzer bir çalışmada Tripathi vd. (2012), Cr(IV) ve Si etkileşimini incelemiş ve Cr 'un bitki büyümesi, fotosentetik pigment içeriği ve protein miktarlarını düşürdüğünü, buna karşılık lipid peroksidasyon (MDA) seviyesini artırdığını rapor etmişlerdir. Si uygulaması ile bu olumsuzlukların iyileştiğini, Si 'un Cr birikimini ve kökten sürgüne taşınmasını azaltarak büyümeyi teşvik ettiğini ifade ettiği sonucuna varmışlardır. Ali vd. (2013) ise, Si uygulamasının arpa (*Hordeum vulgare*) bitkisinde Cr toksisitesini hafiflettiğini ve büyüme ile fotosentetik pigment içeriklerini önemli derecede artırdığını bildirmişlerdir.

- a) Bu alanda yapılan çalışmalar, Si 'un Cr toksisitesini;
- b) Cr alımını ve taşınımını azaltarak bitki içi Cr birikimini sınırlandırarak,
- c) Oksidatif stres belirteçlerini (MDA, H_2O_2) düşürerek,
- d) Antioksidan enzim aktivitelerini (SOD, CAT, APX) yükselterek ve
- e) Fotosentetik sistemin verimliliğini ve büyüme parametrelerini koruyarak hafifletir ve etkiler yüksek Si dozlarında etki daha belirgin hâle gelir.

Sonuç olarak, Si bitkilerde Cr kaynaklı stresin zararlı etkilerini azaltarak, hücrel oksidatif dengeyi yeniden sağlar ve büyümeyi destekler.

3.6. Kurşun Toksisitesi ve Silisyum

Kurşun (Pb), endüstriyel (batarya ve benzin katkısı, boya) ve tarımsal (pestisitler, fosfatlı gübreler, bulak su ile sulama, vb.) faaliyetlerle tarım topraklarına ulaşan ve kirliliğe sebep olan bir elementtir. Topraklarda 15-40 mg/kg düzeyindedir. 150 mg/kg sınır değerini aştığında toksisite başlar ve 300 mg/kg'ı aştığında insan sağlığı açısından tehlikelidir (Dürüst vd. 2004). Pb elementi, hücre turgoru ve hücre duvarı stabilitesini olumsuz etkilemesi, stoma hareketlerini ve yaprak alanını azaltması nedeniyle bitki su rejimini etkilemektedir.

Kök bölgesinde Pb birikimi;

- a) Zar yapılarının bozulmasına,
- b) Fotosentezin inhibisyonuna (stoma hareketlerini ve yaprak alanını azaltarak),
- c) Besin, su ve bitki hormon dengelerinin bozulmasına neden olur ve verim kayıpları ile sonuçlanır (Sharma ve Dubey, 2005).

Bilimsel çalışmalar Si 'un, Pb alımını azaltarak ve oksidatif hasarı sınırlayarak toksisiteyi önemli ölçüde hafiflettiğini ortaya koymuştur. Araújo vd. (2011) Si ilavesi ile Pb'nin mısır büyümesi üzerine toksik etkilerini hafiflettiğini ifade etmiştir. Singh vd. (2011), Si 'un Pb toksisitesine maruz kalan çeltik (*Oryza sativa*) bitkilerinde, kök ve sürgün kuru ağırlığını artırdığını, H₂O₂ ve MDA düzeylerini düşürdüğü ve CAT, POD, SOD, APX gibi antioksidan enzim aktivitelerini belirgin biçimde yükselttiği sonucuna varmışlardır.

Araştırma sonuçları Si 'un Pb stresinin olumsuz etkilerine karşı oluşturduğu koruyucu rolü aşağıdaki şekilde açıklanabilir:

- a.) Pb alımının azaltılması ve taşınımın engellenmesi: Si, Pb ile birlikte Pb-Si kompleksleri oluşturarak Pb'nin hareketliliğini ve biyolojik yararlılığını sınırlar. Ayrıca, kök hücre duvarını güçlendirir ve Pb'nin hücre içine giriş oranını azaltır. Pb'nin ksilem aracılığıyla sürgünlere taşınma oranını da düşürür.
- b.) Antioksidan savunma sisteminin aktive edilmesi: Si, Pb stresine bağlı olarak artan reaktif oksijen türleri (ROS) birikimini baskılar. Ayrıca, SOD, CAT, APX, GR ve POD aktivitelerini artırarak oksidatif hasarı azaltır.

- c.) Fotosentez ve pigment metabolizmasının korunması: Si, Pb kaynaklı klorofil yıkımını sınırlar.
- d.) Besin element dengesinin düzenlenmesi: Pb'nin neden olduğu Fe, Mg, Ca, Zn gibi element dengesizlikleri Si sayesinde azalır.
- e.) Hücre yapısal stabilitesinin sağlanması: Si, hücre zarının lipid peroksidasyonunu (MDA) düşürerek zar bütünlüğünü korur.

Özetle Si, Pb toksisitesine karşı bitkilerde hem fiziksel hem de biyokimyasal düzeyde çok etkili bir koruyucu rol oynar. Kök–sürgün boyunca Pb taşınmasını azaltması, oksidatif stresi sınırlandırması, antioksidan savunma enzimlerinin etkinliğini artırması, fotosentez ve büyüme performansını iyileştirmesi Si 'un, Pb ile kirlenmiş tarım topraklarında biyolojik yolla iyileştirme (*bioremediation*) çalışmalarında veya tarımsal verimi düzeltme amaçlı uygulamalarında büyük potansiyele sahip olduğunu gösterir.

4. SİLİSYUM ÜZERİNE TARIMSAL VE EKONOMİK YAKLAŞIMLAR

Silisyumun tarımsal amaçlı kullanımı, özellikle metal kirliliğine maruz kalmış tarım alanlarınsa toksisitenin hafifletilmesi için umut verici bir yaklaşımdır. Çünkü:

- a) Si uygulamaları, biyolojik yolla iyileştirme (*bioremediation*) veya topraktaki kirleticilerin miktarını/hareketini sınırlandırma (*fitostabilization*) stratejilerini güçlendirir.
- b) Si-gübreli üretim sistemleri, bitki verimliliğini ve gıda güvenliğini korur.
- c) Ekonomik açıdan, Si kaynaklarının büyük bir kısmı endüstriyel yan ürünlerden (örneğin yüksek fırın cürufu) elde edilebildiği için düşük maliyetli ve çevreci bir çözüm sunar.

Silisyum, ağır metal toksisitesine karşı bütüncül bir koruma mekanizması oluşturur ve Fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler düzeylerdeki etkileri, bitkilerin stres toleransını önemli ölçüde artırır. Ayrıca, tarımsal açıdan Si 'un uygulanması çevre *dostu*, *ekonomik* ve *sürdürülebilir* bir strateji olarak tarım sistemlerinde metal stres yönetimi için yüksek potansiyel taşımaktadır.

İleriki çalışmalarda Si 'un, *salisilik asit*, *jasmonik asit*, *NO donörleri*, vb. diğer biyolojik uyarıcılarla kombinasyonlarının değerlendirilmesi, ağır metal toleransını artırmada yeni araştırma alanları açacaktır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda yapılan çok sayıda çalışma, Si'un bitkilerde ağır metal toksisitesini hafifletmede oynadığı önemli rolü açıkça ortaya koymuştur. Si'un etkileri; fizyolojik, biyokimyasal, yapısal ve moleküler düzeylerde birbirini tamamlayan çok sayıda mekanizma üzerinden gerçekleşmektedir. Bu mekanizmalar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

Metal alımı ve taşınımının sınırlandırılması: Si, ağır metallerin (Cd, Pb, As, Cr, Cu, Zn, Fe, Mn, Al vb.) köklerden sürgünlere taşınmasını önemli ölçüde azaltır. Bu etki, metal iyonlarının kök hücre duvarlarında tutulması, metal-silikat komplekslerinin oluşması ve ksileme taşınmasının engellenmesiyle ilişkilidir.

Antioksidan sistemin güçlendirilmesi: Si, ağır metal stresinin neden olduğu reaktif oksijen türleri (ROS) birikimini azaltır. Enzimatik antioksidanlar (SOD, CAT, APX, GR, POD) ile non-enzimatik antioksidanların (askorbat, glutatyon, fenolik bileşikler) aktiviteleri belirgin şekilde artar.

Fotosentezin ve büyümenin korunması: Si, ağır metallerin neden olduğu klorofil kaybını, stoma kapanmasını ve fotosentetik inhibisyonu sınırlar. Böylece fotosentetik etkinlik, yaprak alanı ve biyokütle üretimi korunur.

Besin elementi dengesinin yeniden sağlanması: Metal toksisitesine bağlı olarak bozulan K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} gibi besin iyonlarının taşınması, Si ilavesiyle dengelenir.

Moleküler ve genetik düzenlemeler: Si, metal taşınması, antioksidan savunma ve detoksifikasyonla ilişkili genlerin ekspresyonunu düzenler. Örneğin, *COPT1*, *HMA2*, *HMA3*, *NRAMP5* gibi metal taşıyıcı genlerin ekspresyonunu baskılar. Ayrıca, *CSD1*, *CSD2*, *APX1* gibi antioksidan genlerin aktivitesini artırır. Diğer yandan, *PCS1*, *MT* gibi *şelatlama* ile ilgili genleri de indükleyebilir.

Toprak-bitki sisteminde kimyasal denge: Si, toprak pH'ını artırarak ağır metallerin çözünürlüğünü ve biyolojik yararlılığını düşürür; böylece bitki tarafından alımını sınırlar.

Her ne kadar Si'un metal toksisitesine karşı olumlu etkileri açıkça ortaya konmuş olsa da, bazı yönleri hâlâ araştırmaya açıktır. Gelecekteki çalışmalar için öne çıkan öncelikler şunlardır:

Moleküler mekanizmaların aydınlatılması: Si'un gen ekspresyonunu, sinyal iletim yollarını ve epigenetik düzenlemeleri nasıl etkilediği hâlâ tam

olarak bilinmemektedir. Ayrıca, özellikle Si 'un metal taşıyıcı proteinlerle (örneğin *Lsi1*, *Lsi2*, *NRAMP*, *HMA*, *ZIP*) etkileşim mekanizmaları daha ayrıntılı olarak incelenmelidir.

Nano-Si uygulamaları ve yenilikçi materyaller: Nano boyutlu Si bileşikler, daha yüksek yüzey alanı sayesinde klasik Si kaynaklarına kıyasla daha hızlı etki göstermektedir. Ancak bu materyallerin uzun vadeli ekotoksikolojik etkileri henüz yeterince değerlendirilmemiştir.

Bitki türleri arası farklılıklar ve genotipik varyasyon: Si'nin faydalı etkileri, bitkilerin Si biriktirme kapasitesine göre değişmektedir. Çeltik, buğday gibi Si akümülatörleri ve marul, domates gibi düşük akümülatör kapasiteli bitkiler arasındaki farkların genetik temeli açıklığa kavuşturulmalıdır.

Tarla şartlarında yürütülecek uygulamalar: Şimdiye kadar yapılan çalışmaların çoğu kontrollü koşullarda yürütülmüştür (hidroponik ortam ve sera şartları gibi). Gerçek tarla koşullarında uzun dönemli ve çok değişkenli saha denemelerine ihtiyaç vardır.

Biyostimülan kombinasyonları: Si'un *nitrik oksit (NO) donörleri*, *salisilik asit (SA)*, *askorbik asit (AsA)*, *jasmonik asit (JA)*, *melatonin*, vb. diğer sinyal molekülleriyle etkileşimleri gelecekte umut verici araştırma alanları sunmaktadır. Bu kombinasyonlar, bitkilerde ağır metal stresine karşı sinerjik tolerans mekanizmaları oluşturabilir.

KAYNAKÇA

- Ali, S., Farooq, M. A., Yasmeen, T., Hussain, S., Arif, M. S., Abbas, F., Bharwana, S. A., & Zhang, G. (2013). The influence of silicon on barley growth, photosynthesis, and ultra-structure under chromium stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 89, 66-72.
- Araújo, J. D. C. T. D., Nascimento, C. W. A. D., & Cunha Filho, F. F. D. (2011). Disponibilidade de silício e biomassa de milho em solo contaminado por chumbo tratado com silicato. *Ciência e Agrotecnologia*, 35, 878-883.
- Azeem, M., Iqbal, N., Kausar, S., Javed, M. T., Akram, M. S., & Sajid, M. A. (2015). Efficacy of silicon priming and fertigation to modulate seedlings' vigor and ion homeostasis of wheat (*Triticum aestivum* L.) under saline environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(18), 14367-14371.
- Coskun, D., Britto, D. T., Huynh, W. Q., & Kronzucker, H. J. (2016). The role of silicon in higher plants under salinity and drought stress. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1072.
- Da Cunha, K. P. V., & do Nascimento, C. W. A. (2009). Silicon effects on metal tolerance and structural changes in maize (*Zea mays* L.) grown on a cadmium and zinc-enriched soil. *Water, Air, and Soil Pollution*, 197(1), 323-330.
- Dannon, E.A, & Wydra, K. (2004). Interaction between silicon amendments, bacterial wilt development and phenotype of *Ralstonia solanacearum* in tomato genotypes. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 64, 233-43.
- Deshmukh, R. K., Vivancos, J., Guérin, V., Sonah, H., Labbé, C., Belzile, F., & Bélanger, R. R. (2013). Identification and functional characterization of silicon transporters in soybean using comparative genomics of major intrinsic proteins in Arabidopsis and rice. *Plant Molecular Biology*, 83(4), 303-315.
- Deshmukh, R. K., Ma, J. F., & Bélanger, R. R. (2017). Role of silicon in plants. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1858.
- Dixit, V., Pandey, V., & Shyam, R. V. J. P. C. (2002). Chromium ions inactivate electron transport and enhance superoxide generation in vivo in pea

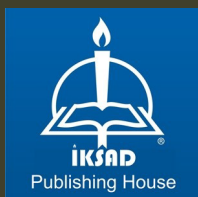
- (*Pisum sativum* L. cv. Azad) root mitochondria. *Plant, Cell & Environment*, 25(5), 687-693.
- Dragišić Maksimović, J., Mojović, M., Maksimović, V., Römheld, V., & Nikolic, M. (2012). Silicon ameliorates manganese toxicity in cucumber by decreasing hydroxyl radical accumulation in the leaf apoplast. *Journal of Experimental Botany*, 63(7), 2411-2420.
- Dürüst, N., Dürüst, Y., Tuğrul, D., & Zengin, M. (2004). Heavy metal contents of *Pinus radiata* trees of İzmit (Turkey). *Asian Journal of Chemistry*, 16(2), 1229-1134.
- Epstein, E. (1994). The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91(1), 11-17.
- Epstein, E. (1999). Silicon. *Annual Review of Plant Biology*, 50(1), 641-664.
- Epstein, E. (2001). Silicon in plants: facts vs. concepts. In *Studies in Plant Science* (Vol. 8, pp. 1-15). Elsevier.
- Feng, J., Shi, Q., Wang, X., Wei, M., Yang, F., & Xu, H. (2010). Silicon supplementation ameliorated the inhibition of photosynthesis and nitrate metabolism by cadmium (Cd) toxicity in *Cucumis sativus* L. *Scientia Horticulturae*, 123(4), 521-530.
- Fadzilla, N. A. M., Finch, R. P., & Burdon, R. H. (1997). Salinity, oxidative stress and antioxidant responses in shoot cultures of rice. *Journal of Experimental Botany*, 48(2), 325-331.
- Fleck, A. T., Nye, T., Repenning, C., Stahl, F., Zahn, M., & Schenk, M. K. (2011). Silicon enhances suberization and lignification in roots of rice (*Oryza sativa*). *Journal of Experimental Botany*, 62(6), 2001-2011.
- Haghighi, M., & Pessarakli, M. (2013). Influence of silicon and nano-silicon on salinity tolerance of cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at early growth stage. *Scientia Horticulturae*, 161, 111-117.
- Kidd, P. S., Llugany, M., Poschenrieder, C. H., Gunse, B., & Barcelo, J. (2001). The role of root exudates in aluminium resistance and silicon-induced amelioration of aluminium toxicity in three varieties of maize (*Zea mays* L.). *Journal of Experimental Botany*, 52(359), 1339-1352.
- Law, C., & Exley, C. (2011). New insight into silica deposition in horsetail (*Equisetum arvense*). *BMC Plant Biology*, 11(1), 112.

- Liang, Y., Shen, Q., Shen, Z., & Ma, T. (1996). Effects of silicon on salinity tolerance of two barley cultivars. *Journal of Plant Nutrition*, 19(1), 173-183.
- Liang Y.C. (1999). Effects of silicon on salt tolerance of barley and its mechanism. *Sci. Agric. Sin.*, 32, 75-83.
- Liang, Y., Yang, C., & Shi, H. (2001). Effects of silicon on growth and mineral composition of barley grown under toxic levels of aluminum. *Journal of Plant Nutrition*, 24(2), 229-243.
- Liang, Y., Chen, Q. I. N., Liu, Q., Zhang, W., & Ding, R. (2003). Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Plant Physiology*, 160(10), 1157-1164.
- Liang, Y., Si, J., & Römheld, V. (2005). Silicon uptake and transport is an active process in *Cucumis sativus*. *New Phytologist*, 167(3), 797-804.
- Liang, Y., Zhang, W., Chen, Q., Liu, Y., & Ding, R. (2006). Effect of exogenous silicon (Si) on H⁺-ATPase activity, phospholipids and fluidity of plasma membrane in leaves of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 57(3), 212-219.
- Liang, Y., Nikolic, M., Bélanger, R., Gong, H., & Song, A. (2015). Silicon in agriculture. LIANG, Y. *et al.* *Silicon-mediated tolerance to salt stress*. Springer Science, 123-142.
- Ma, J. F., Tamai, K., Ichii, M., & Wu, G. F. (2002). A rice mutant defective in Si uptake. *Plant Physiology*, 130(4), 2111-2117.
- Ma, J. F., Yamaji, N., Mitani, N., Xu, X. Y., Su, Y. H., McGrath, S. P., & Zhao, F. J. (2008). Transporters of arsenite in rice and their role in arsenic accumulation in rice grain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(29), 9931-9935.
- Morikawa, C. K., & Saigusa, M. (2002). Si amelioration of Al toxicity in barley (*Hordeum vulgare* L.) growing in two Andosols. *Plant and Soil*, 240(1), 161-168.
- Nwugo, C. C., & Huerta, A. J. (2008). Effects of silicon nutrition on cadmium uptake, growth and photosynthesis of rice plants exposed to low-level cadmium. *Plant and Soil*, 311(1), 73-86.

- Nwugo, C. C., & Huerta, A. J. (2011). The effect of silicon on the leaf proteome of rice (*Oryza sativa* L.) plants under cadmium-stress. *Journal of Proteome Research*, 10(2), 518-528.
- Ouyang, Y. N., & Zhang, G. P. (2011). Alleviation of chromium toxicity by silicon addition in rice plants. *Agricultural Sciences in China*, 10(8), 1188-1196.
- Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M ve Kaptan, H. (1995). Toprak Bilimi. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 73 Ders Kitapları Yayın No: 16, Adana.
- Panda, S. K. (2007). Chromium-mediated oxidative stress and ultrastructural changes in root cells of developing rice seedlings. *Journal of Plant Physiology*, 164(11), 1419-1428.
- Pavlovic, J., Samardzic, J., Maksimović, V., Timotijevic, G., Stevic, N., Laursen, K. H., Hansen, T.H., Husted S., Schjoerring, J. K., Liang, Y., & Nikolic, M. (2013). Silicon alleviates iron deficiency in cucumber by promoting mobilization of iron in the root apoplast. *New Phytologist*, 198(4), 1096-1107.
- Rasool, S., Hameed, A., Azooz, M. M., Siddiqi, T. O., & Ahmad, P. (2012). Salt stress: causes, types and responses of plants. In *Ecophysiology and responses of plants under salt stress* (pp. 1-24). New York, NY: Springer New York.
- Richmond, K. E., & Sussman, M. (2003). Got silicon? The non-essential beneficial plant nutrient. *Current Opinion in Plant Biology*, 6(3), 268-272.
- Romero-Aranda, M. R., Jurado, O., & Cuartero, J. (2006). Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. *Journal of Plant Physiology*, 163(8), 847-855.
- Rothamsted Research. (2006). Classical and other long-term experiments, datasets and sample archive. Lawes Agricultural Trust Co Ltd; pp. 31-4.
- Shanker, A. K., Cervantes, C., Loza-Tavera, H., & Avudainayagam, S. (2005). Chromium toxicity in plants. *Environment International*, 31(5), 739-753.
- Sharma, P., & Dubey, R. S. (2005). Lead toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17, 35-52.

- Singh, V. P., Tripathi, D. K., Kumar, D., & Chauhan, D. K. (2011). Influence of exogenous silicon addition on aluminium tolerance in rice seedlings. *Biological Trace Element Research*, 144(1), 1260-1274.
- Song, A., Li, Z., Zhang, J., Xue, G., Fan, F., & Liang, Y. (2009). Silicon-enhanced resistance to cadmium toxicity in *Brassica chinensis* L. is attributed to Si-suppressed cadmium uptake and transport and Si-enhanced antioxidant defense capacity. *Journal of Hazardous Materials*, 172(1), 74-83.
- Steduto, P., Albrizio, R., Giorio, P., & Sorrentino, G. (2000). Gas-exchange response and stomatal and non-stomatal limitations to carbon assimilation of sunflower under salinity. *Environmental and Experimental Botany*, 44(3), 243-255.
- Tahir, M. A., Aziz, T., Farooq, M., & Sarwar, G. (2012). Silicon-induced changes in growth, ionic composition, water relations, chlorophyll contents and membrane permeability in two salt-stressed wheat genotypes. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 58(3), 247-256.
- Tripathi, D. K., Singh, V. P., Kumar, D., & Chauhan, D. K. (2012). Impact of exogenous silicon addition on chromium uptake, growth, mineral elements, oxidative stress, antioxidant capacity, and leaf and root structures in rice seedlings exposed to hexavalent chromium. *Acta Physiologiae Plantarum*, 34(1), 279-289.
- Tripathi, P., Tripathi, R. D., Singh, R. P., Dwivedi, S., Goutam, D., Shri, M., Trivedi, P. K., & Chakrabarty, D. (2013). Silicon mediates arsenic tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) through lowering of arsenic uptake and improved antioxidant defence system. *Ecological Engineering*, 52, 96-103.
- Tuna, A. L., Kaya, C., Higgs, D., Murillo-Amador, B., Aydemir, S., & Girgin, A. R. (2008). Silicon improves salinity tolerance in wheat plants. *Environmental and Experimental Botany*, 62(1), 10-16.
- Vaculík, M., Landberg, T., Greger, M., Luxová, M., Stoláriková, M., & Lux, A. (2012). Silicon modifies root anatomy, and uptake and subcellular distribution of cadmium in young maize plants. *Annals of Botany*, 110(2), 433-443.

- Wang, Y., Stass, A., & Horst, W. J. (2004). Apoplastic binding of aluminum is involved in silicon-induced amelioration of aluminum toxicity in maize. *Plant Physiology*, 136(3), 3762-3770.
- Welch, R. M., & Shuman, L. (1995). Micronutrient nutrition of plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 14(1), 49-82.
- Xue, G. F., Sun, W. C., Song, A. L., Li, Z. J., Fan, F. L., & Liang, Y. C. (2010). Influence of silicon on rice growth, resistance to bacterial blight and activity of pathogenesis-related proteins. *Sci. Agric. Sin*, 43, 690-697.
- Yeo, A. R., Flowers, S. A., Rao, G., Welfare, K., Senanayake, N., & Flowers, T. J. (1999). Silicon reduces sodium uptake in rice (*Oryza sativa* L.) in saline conditions and this is accounted for by a reduction in the transpirational bypass flow. *Plant, Cell & Environment*, 22(5), 559-565.
- Yıldız, M., Terzi, H., & Uruşak, B. (2011). Bitkilerde krom toksisitesi ve hücrel cevaplar. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 27(2), 163-176.
- Zayed, A. M., & Terry, N. (2003). Chromium in the environment: factors affecting biological remediation. *Plant and Soil*, 249(1), 139-156.
- Zhang, Y., Yang, P., Xu, T., Yu, Y., & Li, X. (2009). Al-detoxification by Si in *Stylosanthes*. *Genomics Appl. Bio*, 1, 57-61.
- Zhu, Z., Wei, G., Li, J., Qian, Q., & Yu, J. (2004). Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Science*, 167(3), 527-533.
- Zhu, Y., & Gong, H. (2014). Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. *Agronomy for sustainable development*, 34(2), 455-472.



ISBN: 978-625-378-397-6