

MODERN TARIM UYGULAMALARI



EDİTÖRLER
DR. ÖĞR. ÜYESİ ABDURRAHİM YILMAZ
ÖĞR. GÖR. DR. SİPAN SOYSAL

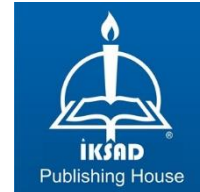
MODERN TARIM UYGULAMALARI

EDİTÖRLER

Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahim YILMAZ
Öğr. Gör. Dr. Sipan SOYSAL

YAZARLAR

Prof. Dr. Murat ERMAN
Prof. Dr. Müttalip GÜNDOĞDU
Prof. Dr. Turan KARADENİZ
Prof. Dr. Şefik TÜFENKÇİ
Prof. Dr. Üstün ŞAHİN
Prof. Dr. Vahdettin ÇİFTÇİ
Doç. Dr. Fatih ÇIĞ
Doç. Dr. Funda DÖKMEN
Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahim YILMAZ
Dr. Öğr. Üyesi Barış EREN
Dr. Öğr. Üyesi Emrah GÜLER
Dr. Öğr. Üyesi Fatih DEMİREL
Dr. Öğr. Üyesi Hayriye SOYTÜRK
Dr. Öğr. Üyesi Muhammad Azhar NADEEM
Dr. Öğr. Üyesi Sibel BOYSAN CANAL
Dr. Öğr. Üyesi Talip ÇAKMAKCI
Öğr. Gör. Dr. Akgül TAŞ
Öğr. Gör. Dr. Sipan SOYSAL
Dr. Esra BULUNUZ PALAZ
Dr. Gafur GÖZÜKARA
Dr. Mehmet Zeki KOÇAK
Öğr. Gör. Hilal YILMAZ
Öğr. Gör. Sema ÇAKIR ÖNGÖREN
Arş. Gör. Caner YERLİ
Arş. Gör. Hakkı Ekrem SOYDEMİR
Arş. Gör. Sibel TURAN
Arş. Gör. Yusuf Talha İÇOĞLU
Uzm. Biyolog Sümeyye ADALI



Copyright © 2022 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)
TURKEY 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 – 2022©

ISBN: 978-625-8405-14-9

January / 2022

Ankara / Turkey

Size: 16x24 cm

İÇİNDEKİLER

EDİTÖRDEN

ÖNSÖZ

Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahim YILMAZ

Öğr. Gör. Dr. Sıpan SOYSAL.....1

BÖLÜM 1

MOLEKÜLER MARKÖRLER İLE BİTKİ GENETİK ÇEŞİTLİLİĞİNİN BELİRLENMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahim YILMAZ

Dr. Öğr. Üyesi Muhammad Azhar NADEEM

Öğr. Gör. Hilal YILMAZ

Prof. Dr. Vahdettin ÇİFTÇİ.....3

BÖLÜM 2

BİTKİ ISLAHINDA İLERİ DOKU KÜLTÜRÜ TEKNİKLERİ

Dr. Esra BULUNUZ PALAZ

Uzm. Biyolog Sümeyye ADALI.....19

BÖLÜM 3

SU KÜLTÜRÜ UYGULAMALARI

Arş. Gör. Hakkı Ekrem SOYDEMİR

Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahim YILMAZ

Prof. Dr. Vahdettin ÇİFTÇİ.....77

BÖLÜM 4

BİYOÇAR (BİYOKÖMÜR) VE KURAKLIK

Prof. Dr. Şefik TÜFENKÇİ

Prof. Dr. Üstün ŞAHİN

Dr. Öğr. Üyesi Talip ÇAKMAKCI

Arş. Gör. Caner YERLİ.....101

BÖLÜM 5

TIBBİ VE AROMATİK BİTKİLERİN SEKONDER METABOLİT PROFİLİNE KURAKLIĞIN ETKİSİ

Öğr. Gör. Hilal YILMAZ

Doç. Dr. Funda DÖKMEN.....121

BÖLÜM 6

TARIMDA GENOM DÜZENLEME UYGULAMALARI

Arş. Gör. Sibel TURAN.....137

BÖLÜM 7

BİYOREMEDİASYON ÇALIŞMALARINDA BİTKİ GELİŞİMİNİ TEŞVİK EDEN KÖK BAKTERİLERİNİN ROLÜ

Öğr. Gör. Dr. Sipan SOYSAL

Prof. Dr. Murat ERMAN

Doç. Dr. Fatih ÇIĞ.....151

BÖLÜM 8

BAĞCILIKTA YENİ GELİŞMELER

Dr. Öğr. Üyesi Emrah GÜLER

Prof. Dr. Turan KARADENİZ.....169

BÖLÜM 9

MELATONİNİN TARIMSAL STRES KAYNAKLARINA ETKİSİ

Öğr. Gör. Dr. Akgül TAŞ

Prof. Dr. Müttalip GÜNDOĞDU.....191

BÖLÜM 10

KÜRESEL ISINMANIN TARIM UYGULAMALARINA ETKİLERİ

Öğr. Gör. Sema ÇAKIR ÖNGÖREN.....215

BÖLÜM 11

NUTRİGENOMİK: KANATLI HAYVANLARDA BESİN - GEN EKSPRESYONU İLİŞKİSİ

Arş. Gör. Yusuf Talha İÇOĞLU

Dr. Öğr. Üyesi Hayriye SOYTÜRK.....243

BÖLÜM 12

DİJİTAL GÖRÜNTÜLERDEN ELDE EDİLEN SAYISAL RENK PARAMETRELERİ İLE TOPRAK HORIZON SINIRLARININ BELİRLENEBİLİRLİĞİ

Dr. Gafur GÖZÜKARA.....255

BÖLÜM 13

BİTKİ DOKU KÜLTÜRÜNDE ANTİBİYOTİK KULLANIMI

Arş. Gör. Hakkı Ekrem SOYDEMİR

Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahim YILMAZ.....279

BÖLÜM 14

ABİYOTİK STRES KOŞULLARINDA ANTIOKSİDATİF SAVUNMA MEKANİZMASI ÜZERİNE SELENYUMUN ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Sibel BOYSAN CANAL.....291

BÖLÜM 15

TRANSGENİK BİTKİ ÜRETİMİ

Dr. Öğr. Üyesi Barış EREN

Dr. Öğr. Üyesi Fatih DEMİREL

Dr. Mehmet Zeki KOÇAK.....307

ÖNSÖZ

Tarım, özellikle gelişmekte olan ülkeler başta olmak üzere birçok ülkede ekonominin belkemiğidir. Yeşil devrim, gıda üretimini ve dolayısıyla tarım sektörünün ekonomik getirisini artırmış olsa da birçok dezavantajı da beraberinde getirmiştir. Günümüzde bilinçsiz tarım uygulamaları ile su ve toprak kaynakları kirlenmekte ve genetik çeşitlilik kaybı yaşanmaktadır. Kırsal kesimde yaşayan topluluklar konvansiyonel tarımın getirdiği sorunlarla gün geçtikçe daha çok mücadele etmektedir. Kaynakların bilinçsiz kullanıldığı ve doğal unsurların sınırlı bir şekilde temin edilebildiği günümüz dünyasında, insanların refahı ile ilgili ekolojik ve ekonomik perspektifler açısından mevcut tarım sistemlerinin maliyet ve faydalarını değerlendirmek için entegre yaklaşımların hayat geçirilmesi gerekmektedir.

Küresel çapta yaşanan iklim değişiklikleri, bitkilerin verim değerlerini azaltmakta ve gıda güvenliği sağlanamamaktadır. Beslenme ve gıda taleplerinin karşılanması için birim alandan alınan ürün miktarı oldukça önemlidir. Artan dünya nüfusunun problemleri tarıma daha profesyonel yaklaşmayı zorunlu kılmaktadır. Tarımsal yönetim ve üretim paradigmaları bir an önce tüm dünyada değişim göstermeli ve günümüzde daha yenilikçi modern tarım uygulamaları hayata geçirilmelidir.

Kısaca, tarım girdilerinin azaltılarak daha üretken modellere geçilmesi, sürdürülebilir tarım yönetimi ve gıda güvenliğinin sağlanması gibi insanlığın geleceğini inşa edecek faktörlerin pratik ve maliyeti düşük

olan modern tarım uygulamaları ile garanti altına alınması gerekmektedir.

Kitabımıza bilimsel çalışmaları ile katkı sunan tüm değerli yazarlarımıza, editör paydaşlarımıza ve İKSAD koordinatörü Doç. Dr. Seyithan SEYDOŐOĐLU'na teşekkür ederiz.

Şubat 2022

Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahim YILMAZ

Öğr. Gör. Dr. Sipan SOYSAL

BÖLÜM 1

MOLEKÜLER MARKÖRLER İLE BİTKİ GENETİK ÇEŞİTLİLİĞİNİN BELİRLENMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahim YILMAZ^{1*}

Dr. Öğr. Üyesi Muhammad Azhar NADEEM²

Öğr. Gör. Hilal YILMAZ³

Prof. Dr. Vahdettin ÇİFTÇİ⁴

^{1*} Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, Bolu, Türkiye. *abdurrahimyilmaz@ibu.edu.tr

² Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknoloji Fakültesi, Sivas, Türkiye. azharjoiya22@gmail.com

³ Kocaeli Üniversitesi, İzmit Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Programı, Kocaeli, Türkiye. hilal.yilmaz@kocaeli.edu.tr

⁴ Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, Bolu, Türkiye. vahdettinciftci@ibu.edu.tr

GİRİŞ

21. yüzyılda, mahsullerin adaptasyonunu, verimini, sağlık özelliklerini ve besin değerini artırmak için yeni allellerin bir kaynağı olarak doğal biyoçeşitliliği araştıran mahsul yetiştirme programları büyük önem kazanmıştır (Yılmaz ve Ciftci, 2021a). Son zamanlarda sıklıkla kullanılmakta olan biyoçeşitlilik kavramı; Tıp, Tarım, Endüstri ve Biyoteknoloji sektörlerinin temel kaynağını oluşturmaktadır (Yılmaz, 2021). Genetik yapıda oluşturulacak değişiklikler ile ortaya çıkan varyasyondan yararlanarak yapılacak olan seleksiyonla yüksek kaliteli, daha verimli, adaptasyon yeteneği yüksek ve hastalık ve zararlılara dayanıklı olan yeni çeşitlerin elde edilmesi mümkün olduğunca kısa sürede gerçekleştirilmektedir (Yorgancılar ve ark., 2015). Bitkilerde genetik varyasyon tanımlaması daha önce fizyolojik, morfolojik ve sitolojik özellikler ile yapılmaktaydı (Scarano, 2002). Ancak bir genin birden fazla karakteri etkilemesi ve bir karakterin birden fazla lokusu tanınması nedeniyle morfolojik veriler genetik farklılıkları belirlemede yetersiz kalmaktaydı. Son yıllarda taksonomi çalışmaları için bitki sistematigi tanımlamalarında bu verilerin yetersiz kalması nedeniyle moleküler yöntemlere yönelim artmıştır. Böylece genetik çeşitlilik çalışmaları için DNA ile ilgili moleküler teknikler geliştirilmiştir (Yılmaz, 2021; Yılmaz ve Ciftci, 2021a).

Bitkilerde kalite ve verimi artırmak için kullanılan geleneksel ıslah metotlarına ek olarak daha ekonomik ve kısa süreli sonuçların alındığı moleküler ıslah yöntemleri geliştirilmiştir. Son yıllarda, bireylerin sahip oldukları DNA bölgeleri arasındaki farklılıkları tespit etmek için

kullanılan moleküler markörlerin popülerleşmesi ile devrim niteliğinde araştırmalar gerçekleşmiştir. Birçok genom bölgesi bitki ıslahçıları tarafından moleküler markörler sayesinde tespit edilmiştir. Bu bölgeler ile yapılan çalışmalarla uzmanların araştırmak istedikleri özellikler bakımından çeşitli ilişkiler tespit edilmeye başlanmıştır (Yılmaz, 2021).

1. MOLEKÜLER MARKÖRLER

Biyoteknoloji, son yıllarda yeniliklere açık ve popüler bilimsel alanların başında gelmektedir. Bu alanlardan birisi de bitki biyoteknolojisidir. Moleküler markör teknikleri bitki biyoteknolojisinde kullanılan çok önemli araçlar olarak değerlendirilmektedir (Filiz ve Koç, 2011). Moleküler markörler, genomda yer alan gen bölgeleri ya da gen bölgeleri ile ilişkili olan DNA parçalarıdır. Genetik markörlerin DNA tabanlı tiplerini oluşturduklarından dolayı DNA markörleri olarak da bilinmektedirler. Moleküler markörler farklı genotiplere ait olan DNA dizilim farklılıklarını çeşitli şekillerde belirleyebilen markörlerdir. Birbirlerine morfolojik bakımdan çok yakın olan kültür bitkileri bu markörlerin kullanılmasıyla tanımlanabilir ve ayrılabilir (Yorgancılar ve ark., 2015).

Son yıllarda küresel çapta tehlike oluşturan iklimsel değişikliklerin bitkilerde oluşturduğu varyasyonların araştırılmasında da moleküler markörler etkin olarak kullanılmaktadır. Küresel ısınma ile bitkilerde oluşan genetik değişiklikler markör çalışmalarıyla birçok kez tespit edilmiştir. Çevresel değişikliklerin oluşturduğu genetik varyasyonların

ortaya çıkarılmasında da moleküler markörlerin hayati öneme sahip olduğu görülmüştür (Jump ve Peñuelas, 2005).

Moleküler markörlerin geliştirilmesi ile ekolojik çalışmaların ve bitki popülasyonlarının sayıları ve genetik analizleri hızlı bir şekilde artmıştır. Her markör tekniğinin kendisine özel uygulama metodu olup, temel sorunun çözülmesi için farklı markörlerden en uygun olanının seçilmesi uygundur. Moleküler markörlerde aranan en önemli özellikler, kodominant kalıtım, kolay ve hızlı olması, genomda sık dağılım göstermesi, yüksek polimorfizm, düşük maliyetli olması ve tekrarlanabilir olmasıdır. Hiçbir markör sistemi bu maddelerin tümüne birden sahip değildir. Bu sebeple yürütülecek olan çalışmalarda markör sistemi belirlenirken en fazla sayıda özelliği taşıyan tekniğin tercih edilmesi gerekir. (Filiz ve Koç, 2011).

Moleküler markörler tek başına klasik ıslah yerine kullanılamamaktadır. Klasik ıslahtaki başarıyı artırabilen, destekleyici ve tamamlayıcı olan araçlar olarak kabul edilmektedir. Moleküler markör sistemlerinin gelişmesi ve iyileştirilmesi sayesinde bitki ıslahındaki çalışmalar daha etkili olarak yapılabilmekte ve klasik ıslaha kıyasla daha kısa sürede başarılı ve güvenilir sonuçlar elde edilebilmektedir (Yılmaz, 2021).

Diğer yöntemler ile kıyaslandığında moleküler markör sistemleri yüksek polimorfizmden ve çevresel faktörlerden etkilenmemek gibi pek çok avantaja sahiptir (Bretting ve Widrechner, 1995). Belirli bir organizmanın moleküler markörler ile tüm kalıtsal şifresinde istenilen bölgelerin belirlenebilmesi mümkündür.

Bitki ıslahında moleküler markörlerin kullanılması ile;

- yabani gen kaynaklarının transferi
- gen piramitlerinin oluşumu
- resesif gen seleksiyonu,
- erken seleksiyon ve
- geri melez ıslahı gibi avantajlı çalışmalar yapılarak klasik ıslahtaki etkinlik derecesi artırılabilen ve yeni çeşitlerin geliştirilmesi hızlandırılabilir (Yılmaz, 2021).

Morfolojik ve biyokimyasal markörlere kıyasla moleküler markörlerin birçok avantajı vardır. Örneğin, morfolojik markörler moleküler markörlerle karşılaştırıldığında, bu tür markörlerin ifadesi hem baskın-çekinlik ilişkiden hem de epistatik-pleiotropik etkileşimden etkilenir. Morfolojik özellikler kullanılarak germplazm arasındaki genetik varyasyonun incelenmesi emek ve zaman alıcı olduğu için bu tür markörlerin kullanımı tercih edilmemelidir (Idrees ve Irshad, 2014).

Moleküler markörlerin istenilen ideal özellikleri;

- Kolayca erişilebilir
- Hızlı ve kolay test edilebilir
- Tekrarlanabilir ve yüksek oranda polimorfik
- Eş baskın kalıtmı ve genomda tekrarlayan oluşumlu
- Çevresel koşullara seçici olarak nötr
- Farklı laboratuvarlar arasında veri alışverişi kolay olmalıdır (Idrees ve Irshad, 2014).

Kısa sürede tekrarlanabilir olması ve abiyotik-biyotik stres faktörlerinden bağımsız olması moleküler markörlerin en önemli avantajlarından. Genetik çeşitlilik, gen keşfi ve filogenetik analiz gibi birçok alanda etkin olarak kullanılabilen moleküler markörlerin kullanımını giderek yaygınlaştırmaktadır (Yılmaz, 2021).

2. BİTKİ GENETİK ÇEŞİTLİLİĞİNİN TESPİTİ VE POPÜLER MOLEKÜLER MARKÖR SİSTEMLERİ

Küresel çapta yaşanan iklim değişiklikleri, bitkilerin verim değerlerini azaltmakta ve gıda güvenliği sağlanamamaktadır (Yılmaz ve Çiftçi, 2021b). Tarıma dayalı olan ekonomik yapıya sahip ülkelerde beslenme ve gıda taleplerinin karşılanması için birim alandan alınan ürün miktarı oldukça önemlidir (Soysal ve Yılmaz, 2021). Artan dünya nüfusu ve iklim değişiklikleri tarıma daha profesyonel yaklaşmayı zorunlu kılmaktadır (Yılmaz ve Soysal 2021). Ekonomik olarak sürdürülebilir tarım sağlanacaksa, çiftçilere çiftlikte hayatta kalma şansı verilecekse tarımsal yönetim ve üretim paradigmaları değişmeli ve modern tarım uygulamaları hayata geçirilmelidir (Yılmaz ve ark., 2021a).

Genetik çeşitlilik, biyolojik dünyanın özüdür ve artan dünya nüfusunun çeşitli zorluklarıyla başa çıkmaya yardımcı olabilecek doğal kaynaklar olarak hizmet etmektedir (Karık ve ark., 2019). Bitki genetik kaynakları, mahsullerin genetik olarak iyileştirmesinde hayati girdilerdir (Ali ve ark., 2020a). Genetik varyasyonlar, herhangi bir türde üreme ihtiyaçlarını karşılamak için oldukça önemlidir (Nadeem ve ark., 2018a). Popülasyonlar arasında ve içinde var olan genetik değişkenlik, arzu edilen tarımsal özelliklerin artırılarak seçkin çeşitlerin

geliştirilmesinde kullanılabilir (Ali ve ark., 2020b). Genetik çeşitlilik çalışmalarında kullanılan germplazm kaynakları, tarımsal özellik çeşitliliğinin değerlendirilebilmesi için kullanılacak bir gen havuzudur ve mahsulün iyileştirilmesinde önemli roller oynamaktadır (Yılmaz ve ark., 2021b).

Günümüzde birçok bitki araştırmacısı genetik polimorfizmi ve bağlantı haritası yapısını incelemek için ve önemli bitkilerin arzu edilen özelliklerini tanımlamak için moleküler markörler kullanmaktadır (Schulmann, 2007; Idrees ve Irshad, 2014). Modern bitki ıslahı programlarında moleküler markörler kullanılarak pek çok bitki türü geliştirilmiştir (Ali ve ark., 2019). DNA moleküllerinin yüksek bilgi içeriği nedeniyle moleküler markörler kullanılarak mahsul moleküler genetik analiz yöntemlerinin sayısında hızlı bir artış gözlenmektedir (Sukhareva ve Kuluev., 2018). Hiçbir moleküler yöntem tüm uygulamalar için ideal değildir, bu nedenle bilim adamları ekipleri yeni bir projeye başlarken yöntemlerin hem artılarını hem de eksilerini tartmalıdır. (Harlt ve Jones, 2005). Tür içi polimorfizmi saptamak için en etkili ve ucuz yöntemler ISSR, SSR ve SNP analizi olarak kabul edilmektedir. SNP analiz yöntemi, kültür bitkilerinin genetik analizinde ve seçiminde artan uygulama bulma olasılığı en yüksek olan en bilgilendirici yöntemdir. Hem tek bir tür içinde hem de daha yüksek taksonomik gruplarda (cins, familya, vb.) polimorfizmi incelemek için farklı markör türlerinin kullanımı uygundur (Sukhareva ve Kuluev, 2018). SNP (Single Nucleotide Polymorphism), popülasyonlarda bulunan bireylerin genom dizilimlerinde oluşan tek nükleotid

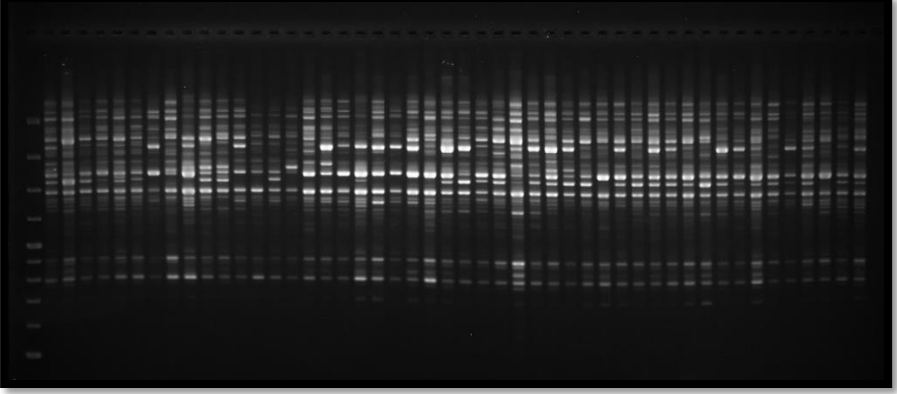
değişimleridir. SNP temelli genotipik karakterizasyonda kullanılan DNA çipleri; otomasyona uygun olmaları ve fazla ürün elde edilebilmeleri bakımından dikkat çekmektedir (Yılmaz, 2021). SRAP (Sequence-Related Amplified Polymorphism) markör sistemi basit, ucuz, polimorfizm oranı yüksek, bantların dizilenmesi bakımından kolaylıklar barındıran, cDNA parmak izi ve gen etiketleme çalışmalarına uygun olan bir sistemdir. Değişik bitki türlerinde genetik çeşitlilik, genetik haritalama ve gen etiketleme analizlerinde kullanılmaktadır (Filiz ve ark., 2009).

RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism) markör sisteminde tür, cins hatta familyalar arası transferler mümkündür. Orta düzeyde polimorfizm oranlarının görüldüğü bu sistemde farklı araştırmacılar tarafından farklı laboratuvar ortamlarında aynı sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu sebeple RFLP markör sistemi oldukça güvenilirdir. Ancak, RFLP markör sisteminin analizleri pahalıdır. Fazla iş gücü gerektirmesi ve zaman alıcı olmasında dolayı da genellikle tercih edilmemektedir (Yorgancılar ve ark., 2015). SSR (Simple Sequence Repeat) markör sistemi, yüksek polimorfizm oranları sağlamasından dolayı bitkilerde yürütülen çalışmalarda fazlaca bilgi verebilmektedir. PCR işlemlerinde kolaylıklar barındırması ve kodominant (eşbaskın) olması da kullanım fırsatını artırmaktadır. Bu sistemin dezavantajı ise yeni markörler geliştirilmesinin zorluğudur (Yılmaz, 2021). RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA) markör sistemi; az iş gücü gerektirmesi, ucuz olması ve çabuk sonuç vermesi ile tercih edilen markör sistemlerindedir. Yürütülen

çalışmalarda polimorfik bant oranının yüksek olması ve az miktarda DNA'nın yeterli olması da bu markör sitemini ön plana çıkarmaktadır. Diğer taraftan farklı laboratuvar ortamlarından farklı sonuçlar edilebildiği için bu sistemin güvenilirliği sınırlıdır (Yorgancılar ve ark., 2015). RAPD'in dezavantajlarını ortadan kaldırmak amacıyla RAPD metodundan faydalanılarak geliştirilen AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism) markör sistemi, etkili olarak aynı anda pek çok sayıda tarama yapabilmesi sayesinde DNA parmak izi analizleri için çok uygundur. Kullanılan markör sayısı bu sistemde RAPD ve RFLP'den daha fazladır. Genomik DNA bilgisine ihtiyacın olmadığı bu sistemde polimorfizm oranı çok yüksektir (Yılmaz, 2021)

ISSR (Inter Simple Sequence Repeat) markör sitemi, evrim biyolojisinde, genom haritası oluşturmada, filogenetik analizlerde ve genetik çeşitliliğin belirlenmesinde tarla bitkilerinin çoğunluğunda uygulanabilen etkili bir sistemdir (Reddy ve ark., 2002). Yakın ilişkili bireylerin farklarını çok bilgilendirici, kolay ve hızlı bir şekilde tespit edebilen bu sistemin markörleri uzun olduğundan dolayı güvenilirlikleri daha fazladır. Düşük maliyetli olan bu sitemde zamandan da tasarruf sağlanabilmektedir (Yorgancılar ve ark., 2015; Yılmaz ve Ciftci, 2021a). SCoT markörleri, gen hedefli markörlerin üretimi için geliştirilen basit ve güvenilir markörlerdir. Diğer birçok markör sistemine kıyasla SCoT (Start Codon Targeted) sitemi, bitkilerde evrensellik ve biyolojik özellikler ile ilgili daha fazla bilgiler sağlamaktadır. Hedef genle yakın bağlanma avantajına sahip olan bu sistem güvenilir, tekrarlanabilir, kolay kullanımlı ve verimli olması bakımından tercih edilmektedir (Yılmaz ve Ciftci, 2021a). SCoT

markörleri ile elde edilen örnek bir bant görüntüsü Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. SCoT analizinden alınan ve 48 defne (*Laurus nobilis* L.) genotipini temsil eden bir bant görüntüsü (Yılmaz, 2020).

DArT (Diversity Arrays Technology), genom üzerinde dağıtılan polimorfik lokusların genotiplendirilmesi için mükemmel fırsatlar sağlayan bir sistemdir. En önemli avantajları çok ekonomik ve yüksek verimli olmasıdır (Nadeem ve ark., 2018b). DArT markörleri, primerlerin özel geliştirilmesine veya sıralanmasına gerek duyulmadan güçlü parmak izi teknolojisine sahiptir. Son zamanlarda birçok bitkideki genetik çeşitlilik tanımlanması ve ilişkiler için en önemli yöntemler arasında gösterilmektedir (Yılmaz, 2021).

Tüm bu özellikleri ile moleküler markörler bitkilerin genetik çeşitliliğinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Genetik çeşitlilik çalışmalarında kullanılan bazı popüler moleküler markörlere ait özelliklerin karşılaştırılması Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Bazı moleküler markörlerin önemli özelliklerinin karşılaştırılması (Nadeem ve ark. 2018b).

Özellikler	RFLP	RAPD	AFLP	ISSR	SSR	SNP	DArT
Dominant /	Co-dominant	Dominant	Dominant	Dominant	Co-dominant	Co-dominant	Dominant
Co-dominant							
Tekrarlanabilirlik	Yüksek	Yüksek	Orta	Orta-Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Polimorfizm seviyesi	Orta	Çok yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Gerekli DNA kalitesi	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük	Yüksek	Yüksek
Gerekli DNA miktarı	Yüksek	Orta	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük
Genom zenginliği	Yüksek	Çok yüksek	Çok yüksek	Orta	Orta	Çok yüksek	Çok yüksek
Maliyet	Yüksek	Düşük	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Değişken	En düşük
Sekanslama	Evet	Hayır	Hayır	Hayır	Evet	Evet	Evet
Statü	Eski	Eski	Eski	Yeni	Yeni	Yeni	Yeni
PCR durumu	Hayır	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Hayır
Görüntüleme	Radyoaktif	Agaroz jel	Agaroz jel	Agaroz jel	Agaroz jel	SNP-VISTA	Microarray
DNA gerekliliği (ng)	10000	20	500-1000	50	50	50	50-100

SONUÇ

Bitkilerdeki temel biyolojik olayların moleküler temelini anlamak, bitki genetik kaynaklarının etkin korunması, yönetimi ve verimli kullanımı için çok önemlidir. Özellikle, bitki popülasyonlarının en iyi şekilde nasıl kullanılacağına dair mevcut genetik çeşitlilik hakkında yeterli bilgi, temel bilim ve ürün genetik kaynaklarının etkin yönetimi gibi uygulamalı yönler için temel bir ilgi konusudur. Bitki genetik kaynaklarının iyileştirilmesi, yabani akrabaların sürekliliğine, geleneksel çeşitlere ve modern yetiştirme tekniklerinin kullanımına bağlıdır. Bu süreçlerin tümü adına dayanıklı ve yüksek verimli çeşitleri seçmek için yeterli düzeylerde çeşitlilik değerlendirmesi gerekmektedir. Moleküler markörler, yeni genom bazlı keşiflere ve teknolojik gelişmelere duyarlı olan ve bu nedenle sürekli değişime tabi olan bir moleküler araç sınıfını temsil etmektedir. Çoğu moleküler markör tekniği genetik çeşitliliğin değerlendirilmesinde, genetik ve fiziksel haritaların oluşturulmasında kullanılmaktadır. Bitki biyoteknolojisi çalışmalarına moleküler markör teknikleri ile yeni boyutlar kazandırılmış, bitki ıslahı, bitki genetiği ve bitki genom çalışmalarına önemli katkılar sağlanmıştır.

KAYNAKÇA

- Ali, F., Nadeem, M. A., Habyarimana, E., Yılmaz, A., Nawaz, M. A., Khalil, I. H., Ercişli, S., Chung, G., Chaudhary, H.J. ve Baloch, F. S. (2020a). Molecular characterization of genetic diversity and similarity centers of safflower accessions with ISSR markers. *Brazilian Journal of Botany*, 43(1), 109-121.
- Ali, F., Yılmaz, A., Chaudhary, H. J., Nadeem, M. A., Rabbani, M. A., Arslan, Y., Nawaz, M. A., Habyarimana, E. ve Baloch, F. S. (2020b). Investigation of morphoagronomic performance and selection indices in the international safflower panel for breeding perspectives. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 44(2), 103-120.
- Bretting, P. K. ve Widrechner, M.P. (1995), Genetic markers and plant genetic resource management. *Plant Breeding Reviews*, Volume 13, John Wiley & Sons, Inc.
- Filiz, E., Ozdemir, B. S., Tuna, M. ve Budak, H. (2009). Diploid *Brachypodium distachyon* of Turkey: molecular and morphologic analysis. In *Molecular Breeding of Forage and Turf* (pp. 83-90). Springer, New York, NY.
- Filiz, E. ve Koç, İ. (2011). Bitki biyoteknolojisinde moleküler markörler. *GOÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 28(2), 207-214.
- Hartl, D. L. ve Jones, E. W. 2005. "DNA Structure and DNA manipulation." In *Genetics: analysis of genes and genomes*. 5th ed., Ch. 2, 36-85. Sudbury: Jones and Bartlett Pub.
- Idrees, M. ve Irshad, M. (2014). Molecular markers in plants for analysis of genetic diversity: a review. *European academic research*, 2(1), 1513-1540.
- Jump, A. S. ve Penuelas, J. (2005). Running to stand still: adaptation and the response of plants to rapid climate change. *Ecology letters*, 8(9), 1010-1020.
- Karık, Ü., Nadeem, M. A., Habyarimana, E., Ercişli, S., Yildiz, M., Yılmaz, A., Yang, S. H., Chung, G. ve Baloch, F. S. (2019). Exploring the genetic diversity and population structure of Turkish laurel germplasm by the iPBS-retrotransposon marker system. *Agronomy*, 9(10), 647.

- Kence A (1992). Biyolojik zenginlikler, sorunlar ve öneriler. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Dergisi, (74), 13-16.
- Nadeem, M. A., Aasim, M., Kırıcı, S., Karık, Ü., Nawaz, M. A., Yılmaz, A., Maral, H., Khawar, K.M. ve Baloch, F. S. (2018a). Laurel (*Laurus nobilis* L.): A less-known medicinal plant to the world with diffusion, genomics, phenomics, and metabolomics for genetic improvement. Biotechnological approaches for medicinal and aromatic plants, 631-653.
- Nadeem, M. A., Nawaz, M. A., Shahid, M. Q., Doğan, Y., Comertpay, G., Yıldız, M., Hatipoğlu, R., Ahmad, F., Alsaleh, A., Labhane N., Özkan, H., Chung, G., ve Baloch, F. S. (2018b), DNA molecular markers in plant breeding: current status and recent advancements in genomic selection and genome editing. Biotechnology & Biotechnological Equipment, 32(2), 261-285.
- Reddy, M. P., Sarla, N. ve Siddiq, E. A. (2002). Inter simple sequence repeat (ISSR) Polymorphism and its application in plant breeding. *euphytica*, 128(1), 9-17.
- Schulmann, A. H. (2007). Molecular markers to assess genetic diversity. *Euphytica* 158(3), 313-321.
- Soysal, S. ve Yılmaz, A. (2021) Mikorizal Fungusların (MF) Tarla Bitkilerinde Kullanımı. G. Bengisu (Ed) Akademik Perspektiften Tarım'a Bakış (173-192. ss.). Adıyaman; Turkey: İKSAD. <https://iksadyayinevi.com/home/akademik-perspektiften-tarima-bakis/>
- Sukhareva, A. S. ve Kuluev, B. R. (2018). DNA markers for genetic analysis of crops. *Biomics*, 10 (1), 69.
- Yılmaz, A. (2020). Türkiye'nin farklı bölgelerinden toplanan defne (*Laurus nobilis* L.) genotiplerinin moleküler karakterizasyonu, Doktora Tezi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yılmaz, A. (2021). The Importance of Molecular Markers in Plant Breeding. 2nd International 5 Ocak Congress On Applied Sciences. Proceeding Book, PP 30-35.
- Yılmaz, A. ve Ciftci, V. (2021a). Genetic relationships and diversity analysis in Turkish laurel (*Laurus nobilis* L.) germplasm using ISSR and SCoT markers. *Molecular Biology Reports*, 1-11.

- Yılmaz, A., ve Çiftçi, V. (2021b) Pütresin'in Tuz Stresi Altında Yetişen Yer Fıstığı (*Arachis hypogaea* L.)'na Etkisi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (31), 562-567.
- Yılmaz, A. ve Soysal, S. (2021) The Necessity of Autonomous Systems in Agriculture. A. Çelik, K. Bellitürk ve M.F. Baran (Ed) Agricultural Researches Resourcebook (301-322. ss.). Adıyaman; Turkey: İKSAD. <https://iksadyayinevi.com/home/agricultural-researches-resourcebook/>
- Yılmaz, A., Soysal, S., Emiralioglu, O., Yılmaz, H., Soydemir, H. E. ve Çiftçi, V. (2021a) Sürdürülebilir Tarımda Anıza Ekimin Önemi. M.F. Baran, K. Bellitürk ve A. Çelik (Ed) Türkiye'de Sürdürülebilir Tarım Uygulamaları: Zorluklar ve Potansiyeller (221-230. ss.). Adıyaman; Turkey: İKSAD. <https://iksadyayinevi.com/home/turkiyede-surdurulebilir-tarim-uygulamalari-zorluklar-ve-potansiyeller/>
- Yılmaz, A., Yeken, M. Z., Ali, F., Barut, M., Nadeem, M. A., Yılmaz, H., Naeem, M., Hacıoğlu, B. T., Arslan, Y., Kurt, C., Aasim, M. ve Baloch, F. S. (2021b). Genomics, Phenomics, and Next Breeding Tools for Genetic Improvement of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). In Oil Crop Genomics (pp. 217-269). Springer, Cham.
- Yorgancılar, M., Yakışır, E. ve Erkoyuncu, M. T. (2015). Moleküler Markörlerin Bitki Islahında Kullanımı. Bahri Dağdaş Bitkisel Araştırma Dergisi, 4(2), 1-12.

BÖLÜM 2

BİTKİ ISLAHINDA İLERİ DOKU KÜLTÜRÜ TEKNİKLERİ

Dr. Esra BULUNUZ PALAZ^{1*}

Uzm. Biyolog Sümeyye ADALI²

^{1*} Doğu Akdeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü,
Kahramanmaraş, Türkiye. bulunuzesra@hotmail.com

² Doğu Akdeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü,
Kahramanmaraş, Türkiye. sumeyye_babaoglu@hotmail.com

GİRİŞ

Bitkilerde biyoteknolojik yöntemler in vitro kültür teknikleri ve genetik manipülasyon tekniklerini kapsamaktadır. Teknolojinin bitkilerde uygulanması; bitki organ, doku ve hücrelerinin suni besi ortamlarında kültüre alınarak çoğaltılması ve genetik olarak değiştirilmesi konularını kapsamaktadır. Bitki biyoteknolojisi klasik yöntemlerle çözülmeyen problemlerin bertaraf edilerek daha kısa zamanda kaliteli, ekonomik bitkisel üretime yardımcı olmaktadır. Bitki biyoteknoloji uygulamaları 1938 yılında Schwann ve Schleiden'in totipotensi temeli ile atılmıştır. Totipotensi; tek bir hücreden uygun çevre koşullarında tam teşekküllü bitki gelişebileceği bunun hücrelerin otonom yapılarda olmasından kaynaklandığı ile açıklanmıştır. Doku kültürü çalışmaları işte bu totipotent hücrelerin rejenerasyonu ile tam bir organizma geliştirme yeteneğinin kullanılması ile başlamıştır.

İn vitro kültür teknikleri (doku kültürü); Bitki tohum, embriyo, anter, ovul, organ, doku ve protoplastlarının steril koşullarda yapay besi ortamlarında kültüre alınmasıdır. İn vitro kültürün avantajları;

- Hastalık ve zararlılardan arındırılmış ortamlarda ari bitkisel materyal elde edilmesi,
- Klasik yöntemlere göre daha az alanda kısa sürede kitlesel üretim,
- Çelikle ve tohumla üretimi zor olan bitkilerde üretim olanağı,
- Kaybolmakta olan türlerin üretilmesi,

- Bitki hücre ve protoplastlarının kültüre alınması ve gen manipülasyonunda kullanılmasına olanak sağlar,
- İn vitro teknikler ile önemli genetik kaynakların muhafazası (İrnek yavaş büyütme ile muhafaza, dondurarak muhafaza, yapay tohum depolama, DNA'nın depolanması),
- Çevre faktörlerinden bağımsız kontrollü koşullarda bitkisel ürünlerden sekonder metabolitlerin üretimi,
- Vejetatif melezleme imkânı sunar (somatik hibridizasyon),
- Gen transferi yapılabilir.

İn vitro kültür teknikleri, bitki çoğaltımı ve alanlarında bitki hücre ve dokusunun kullanıldığı birçok çalışmayı kapsamaktadır. Bunlar; Organogenesis, Somaklonal varyasyon, Somatik Embriyogenesis, Kallus Kültürü, Hücre kallus ve Protoplast Kültürü, Somatik Melezleme, Haploid Bitki üretimi, Sekonder metabolit üretimi, Germplasm Muhafazası, Bitkilerde gen transferi, Embriyo Kültürü.

1.BİTKİ ISLAHINDA İLERİ DOKU KÜLTÜRÜ YÖNTEMLERİ

Doku kültürü çalışmalarına baktığımızda ekonomik değeri yüksek olan bitkilerin kitleselel üretiminin doku kültürü yöntemiyle yapılmasının uygun olduğu, ancak bundan sonraki çalışmalarda ticari olarak bu bitkilerin üretilmesi ıslah çalışmalarının yapılarak genetik varyasyonların oluşturulması gerekmektedir. Yeni çeşit geliştirmek, kaybolmakta olan türlerin korunması ve mevcut çeşitlerde genetik çeşitlilik oluşturmak için doku kültürü yöntemleri bitki ıslahında kullanılmaktadır. Klasik bitki ıslahı ile karşılaşılan sorunlara

özüm bulunamadığında modern tekniklerin ve bitki teknolojisinden daha fazla yararlanılarak bu sorunların özölmesi mümkün olacaktır. Bitkilerde biyoteknolojik yöntemlerden doku kültürü ve bu alanda uygulanan teknikler ıslah yöntemlerine her geçen yıl entegre edilerek ıslahçıların arzu ettiği yüksek ekonomik değere sahip bitkisel materyallere kavuşma imkânı artmaktadır. Özellikle geleneksel yöntemler ile çoğaltımı zor ya da uzun zaman alan bitkilerde ıslah sürecinde kullanılan doku kültürü teknikleri ile daha az sürede, klonal, hastalıktan ari, laboratuvar koşullarında mevsimsel çevre koşullarından etkilenmeden 12 ay çalışma yapılabilinmektedir.

Bitki doku kültürünün bitki ıslahındaki uygulama alanları; Haploid bitki üretimi, Türler arası melezlemelerden sonra embriyo kültürü, Somaklonal varyasyon, İn vitro seleksiyon, İn vitro mutagenesis, Gen transferi, İn vitro tozlanma ve dölleme, Somatik hücre melezlemesi (protoplast kültürü), Poliploid indüksiyonu.

İn vitro tekniklerin bitki ıslahında kullanımının avantajları;

- Genetik çeşitliliğin artırılması ve mevcut çeşitlerde iyileştirme (gen ve genlerin bitkilere aktarılması).
- Tarla gibi büyük alanlar yerine laboratuvar aşamasında yapılan seleksiyon ile çok sayıda bitki daha az alanda daha kısa sürede selekte edilebilmektedir.
- Haploid bitki üretimi ile %100 homozigot bitkiler ile hatların saflaştırılması ile ıslah programlarının kısaltılması.
- Patojenler, tuzluluk, herbisitler vb. faktörlere karşı dayanıklılık/tolerans amacıyla yürütülen ıslah çalışmalarında

dayanıklı tek hücre veya bitki parçalarının seleksiyonu ile bu hücrelerden in vitro mikroçoğaltım ve rejenerasyon ile ilgili faktörlere dayanıklı veya toleranslı bitkiler ortaya çıkarılır.

- İn vitro germlasm muhafazası.
- Erken dönemde türler arası melezleme sonrası ortaya çıkan problemlerin embriyo kültürü ile ortadan kaldırılarak melez bireylerin yaşatılması.
- Resesif mutasyonların yakalanmasına olanak sağlar.

1.1. Haploid Bitki Üretimi

Gamet hücrelerinden döllenme olmaksızın bir bitki oluşursa, ana bitkinin kromozom sayısının yarısı kadar kromozoma sahip haploid bitkiler elde edilmektedir. Diğer bir deyişle somatik hücrelerindeki kromozom sayısı, ait oldukları bitki türünün gamet hücrelerinde bulunan kromozom sayısı kadar olan bitkilere haploid bitkiler denmektedir. Haploid bitkiler homolog kromozomlardan sadece bir takımı içermektedir. Haploid bitkilerde kromozom katlaması ile %100 homozigot saf hatlar (dihaploid, homozigot ebeveynler) elde edilebilmektedir. İslah çalışmalarında haploid bitkilerin avantajları;

- Bitki ıslahçıları tarafından kendine döllen bitkilerde melezleme ıslahında arzu edilen karakterler yönünden genotiplerin seçilebilmesi için %100 homozigot saf hatlar elde edilmektedir.
- Klasik melezleme yöntemlerinde homozigot ebeveynlerin elde edilmesi için 7-8 generasyon kendileme yapılması

gerekmektedir. Bu çok zaman alıcıdır ve aynı zamanda döllerde kendileme depresyonu ortaya çıkmaktadır. Kendileme yerine 1 yıl gibi kısa bir sürede dihaploidizasyon yöntemi ile homozigot ebeveynler elde edilmektedir.

- F1 hibrit çeşit ıslahında dihaploid bitkilerden elde edilen safhatlar ebeveyn olarak kullanılabilir.
- Tetraploid türlerde (ör; patates, yonca, vs) haplodizasyon ile diploid bitkiler elde edilmektedir. Tetraploid bitkilerden elde edilen bu diploidler ile yabani ve kültür çeşitleri ile melezleme yaparak yeni ilginç ticari çeşitler geliştirilebilir.
- Kendileme depresyonu olan türler ve dioik türlerde homozigotiye ulaşmada dihaploidizasyon yöntemi ile bu sorun bir generasyonda çözülebilir.
- Homozigot bireylerde resesif genler, dominant genler tarafından maskelenmeyeceğinden genetik açılımı izlemek daha kolaydır.
- Haploidler ve Dihaploidler sitolojik, fizyolojik ve genetik açıdan (gen haritalarının çıkarılması) önemli deneysel materyallerdir.
- Diploid protoplastların somatik hibridizasyon sırasında kullanılması ile tetraploid melezler ortaya çıkar. Haploid protoplastların somatik hibridizasyonu diploid protoplastlardan daha kolaydır ve iki haploid protoplastın fuzyonu sonucu diploid melez ortaya çıkmaktadır.

Doğada haploid bitkiler genellikle ginogenesis, polyembriyoni, kromozom eliminasyonu, apomiksis, parthogenesis sonucu düşük frekanstada olsa ortaya çıkabilmektedir. İlk kez spontan haploid Sea

Island Cotton bitkisinde rapor edildikten sonraki süreçte yaklaşık 16 angiosperm familyasında 39 cins ve 71 türde haploid bitkiler keşfedilmiştir (Harland, 1920, 1936; Kimber ve Riley, 1963). Ayrıca haploid bitkiler suni olarak ısı ve sıcaklık şoku, uzak türler arası melezleme, ışınlanmış polenler ile tozlama, çiçek tozlarına farklı kimyasalların kullanılması ile polen, yumurta hücresi ve sinerjidlerden haploid bitkiler elde edilebilmektedir. Haploid bitkilerin ıslah çalışmalarında avantajlarından dolayı ıslahçılar tarafından düzenli ve yeterli düzeyde bu bitkilere ulaşmak en büyük arzu olmuştur. Günümüzde erkek ve dişi gametofitlerden haploid bitkilerin elde edilmesinde in vitro kültür teknikleri birçok tür için çok yaygın ve etkin halde kullanılmaktadır (Sangwan ve Sangwan Norreel, 1990). Guha ve Maheswari (1964), ilk kez *Datura innoxia*'da anter kültürü tekniğiyle (androgenesis yoluyla) haploid bitki üretimini gerçekleştirmişlerdir. İn vitro haploid bitkilerin ilk üretiminden bu yana 250'den fazla bitki türünde anter, mikrospor, döllenenmiş ovul/ovuller kullanılarak in vitro haploid bitki üretimi çalışmaları yapılmaktadır (Maluszynski ve ark., 2003). Haploid bitki eldesinde kullanılan yöntemler; Anter kültürü, Ovul kültürü, Mikrospor kültürüdür.

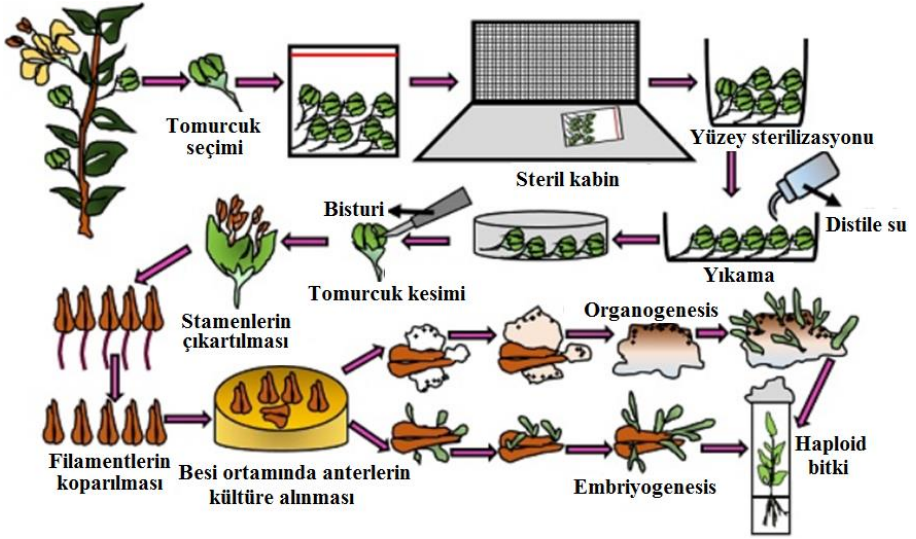
1.1.1. Anter kültürü

Başlangıç materyali olarak henüz olgunlaşmamış ve birinci polen mitozu aşamasında tek çekirdekli mikrospor bulunduran anterler kullanılmaktadır. Bu aşamadaki anterleri içeren çiçekler yüzey sterilizasyonundan geçilerek anterler haplodizasyon için gerekli bitki

büyüme düzenleyicileri içeren besi ortamına aktarılır. Normal koşullarda iki çekirdekli yapıya dönüşecek polen tanesinin anter kültürü ile tek çekirdekli dönemdeyken gelişme yönü somatik yöne döndürülerek polen hücresinin direkt olarak bir bitkiye dönüştürmesine **androgenesis** denmektedir. Anterler içindeki mikrosporlardan haploid bitki 2 yolla oluşmaktadır.

- 1- **Direkt androgenesis;** Polen tanesinden direkt embriyo gelişir ve çimlenerek haploid bitki oluşur.
- 2- **İndirekt androgenesis;** Polen tanesinden önce kalluş gelişimi gerçekleşir ve daha sonra oluşan kallustan somatik embriyogenesis ya da organogenesis ile haploid bitki oluşur.

Anter kültürü ile haploid bitki üretim başarısında mikrosporların gelişimini endojen ve eksojen birçok faktör (anterlere soğuk uygulaması, sıcaklık uygulaması, ışık yoğunluğu, besi ortamı ve bileşenleri) etkilese de bunların en başında genotip ve donör bitkinin yetiştirme koşulları gelmektedir (Datta, 2005; Wang ve ark., 2000). Anter kültürü ile Brassicaceae, Solanaceae ve Gramineae familyalarında haploid bitkilerin elde edilmesi daha yüksek iken bazı familyaların bitki türlerinde bu oran daha düşüktür (Van Den Bulk ve Van Tuyl, 1997).

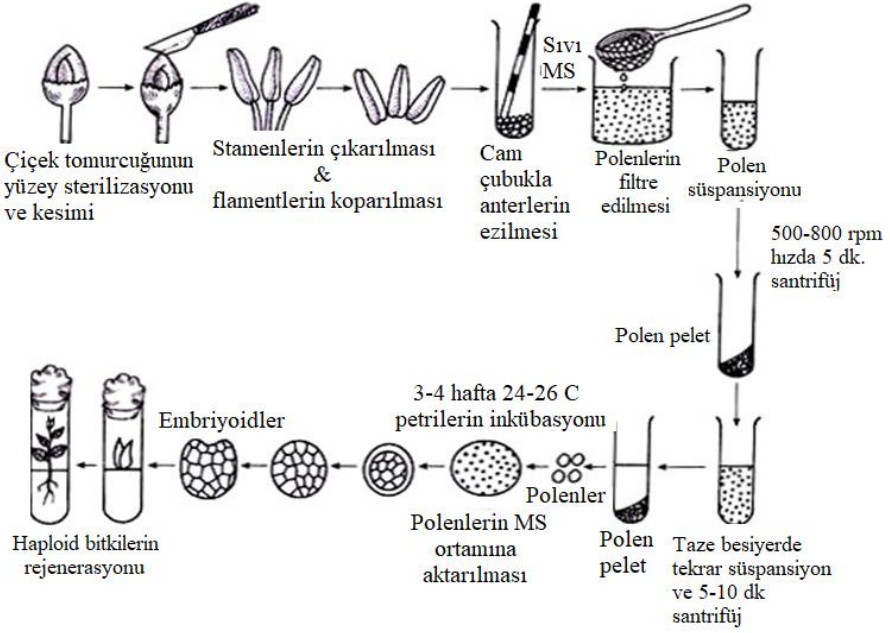


Şekil 1: Anter kültür tekniği (Kaynak: <https://www.biologydiscussion.com/plant-tissues>).

1.1.2. Mikrospor kültürü

İzole edilmiş mikrosporların in vitro kültürü anter kültürüne göre birçok avantaj sağlamaktadır. Anter duvarı olmadığı için diploid hücreler uzaklaştırılmıştır ve sadece mikrosporlar kültüre alındığı için elde edilen bitkilerin haploid olma şansı artmaktadır. Mikrosporlar direk besi ortamı üzerine temas ettiklerinden dolayı ortamdaki daha iyi yararlanabilirler. Mikrosporların in vitro gelişiminde polen tanesinde önce çekirdek bölünmesi ile vejetatif ve generatif çekirdek oluşur. Bundan sonra ya generatif çekirdek dormant duruma geçer ve vejetatif çekirdek bölünmeye devam ederek haploid bitkiyi oluşturur ya da vejetatif çekirdek dormant duruma geçer generatif çekirdek bölünerek haploid bitkiyi oluşturur. Bazen de polen tanesindeki çekirdeğin mitoz bölünmesi ile aynı büyüklükte iki çekirdek oluşur ve bunların ikisinin bölünmesiyle haploid bitki oluşur ya da bu iki çekirdek birleşerek

önce diploid bir çekirdek oluşturur ve bunun bölünmesi ile diploid homozigot bitkiler meydana gelir. Anter kültürüne göre avantajları olsa dahi haploid bitki elde edilmesinde başarısı daha azdır ve besi ortamı seçiciliğinden dolayı anter kültürüne göre yaygınlaşamamıştır.



Şekil 2: Polen kültürü (Kaynak: <https://www.biologydiscussion.com/plant-tissues>).

1.1.3. Ovul kültürü

Anter veya mikrospor kültürü uygulanamadığında, örneğin erkek kısırılığı nedeniyle mikrosporlar oluşmadığında veya androgenesisin rejenere bitkilerin albinizmi ve androgenesise düşük tepki verdiğinde ovül kültürü haploid bitki elde edilmesi için alternatif bir yöntemdir (Yang ve Zhou, 1982). Dişi gametten, döllenmemiş yumurtalıkların

veya ovullerin in vitro kültür yoluyla haploid bitki oluşumu partenogenesis olarak da adlandırılır.

1.1.4. Kromozom katlaması ile homozigot double haploid (DH) bitkilerin elde edilmesi

Hücrelerinde kromozom sayısı bakımından indirgenmiş gametlerin yapısını gösteren haploid bitkiler gövde, dal, yaprak, çiçek ve bazen meyvede oluşturabilen bitkilerdir. Diploitlere göre hücreleri daha küçük olan bu bitkilerin boyları daha kısa, yaprakları dar ve küçüktür. Buna paralel çiçekleride oldukça küçüktür ve çiçek tozu üretemediği için kısırır. Haploid bitkiler ile diploid bitkiler dış görünüş olarak farklılıklarından dolayı ayırt edilebilse ile en iyi sonuç kök ucu kromozom boyama ya da flow stometri ile yapılan analizler ile ayırt etmek daha doğru olacaktır. Haploid olduğu tespit edilen bitkilerde kromozom katlaması için bitkinin sürgün ve kökleri türe göre hazırlanmış belirli konsantrasyondaki kolhisin çözeltisinde belirli sürede bekletilmektedir. Kromozom katlaması in vitro kültürde anterlerden oluşan embriyoların rejenerasyonu gibi daha erken dönemlerde de yapılabilmektedir. Kısa sürede homozigotluk sağlanması dolayısıyla bitki ıslahı sürecini kısalttığı için double haploid tekniğiyle elde edilen bitkilerin ıslah programlarında kullanımı her geçen gün artmaktadır. Double haploid teknikleri başlıca tahıllar olmak üzere önemli ürünlerin ıslah programlarında ekonomik olarak elde edilmesinde olanak sağlamaktadır (Wedzony ve ark., 2009). Son yıllarda double haploid tekniklerin güncel uygulamaları resesif mutantların teşhisi, genetik seleksiyon, popülasyonların genetik

haritalarının çıkarılması ve transgenik gelişmelerde kullanılmalarıdır. Double haploid hatlarda heterozigoti nedeniyle ortaya çıkan intermediyer ekspresyonlara rastlanmaz. Bu nedenle de fenotipik isaretleyicilerin (marker) tanımlanması çok daha etkin olabilmektedir. Sonuç olarak genetikçiler ve ıslahçılar ilk çaprazlamalardan sonra 11-13 yıl süren ıslah programlarında daha kısa sürede kendilenmiş hat üretimi için yani homozigot bireyler için double haploid yöntemi kullanmak için heveslidirler.

1.2. Poliploid İndüksiyonu

Genetik varyasyon oluşturmada yapay yollardan olan fiziksel (X ve gama ışınımı gibi iyonize radyasyon) ve kimyasal (Etil metan sülfanat = EMS, Dietil sülfat = DES, Etilenimin = Eİ, oryzalin, kolhisin (colchicine)) mutagenlerle, spesifik uygulamalar ya da doku kültürü teknikleriyle kromozom katlanması, poliploid bitkilerin elde edilmesini sağlamaktadır (Grant ve Owens, 2002; Bilir Ekbiç, 2010). Birçok bitki türü ve hibridinin geliştirilmesinde poliploid önemli rol oynamaktadır. Ploidi düzeyinin değişimiyle birlikte; genetik çeşitlilik artmakta (Akgün, 1997), yabancı alleler etkisiz hale gelmekte ve morfolojik veya fizyolojik yönden daha sağlam, hızlı gelişen, sağlıklı bitkiler elde edilebilmektedir (Tate ve ark, 2005).

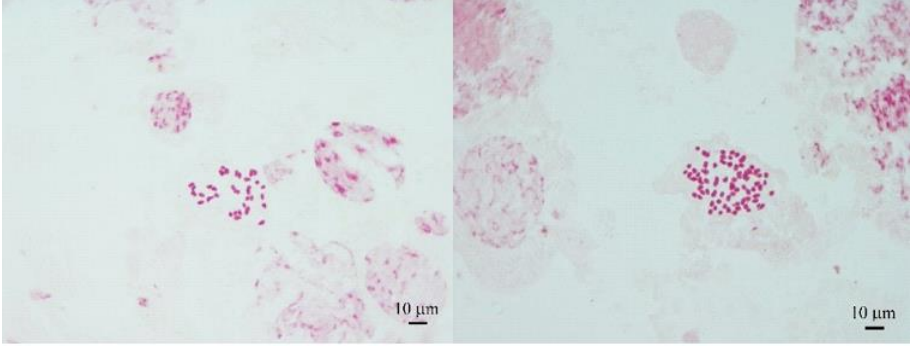
Poliploid bitkiler sıklıkla diploidlere göre artan biyokütlelerinden dolayı daha büyük yumru, kök ve rizomlara, artan meyve boyutlarına, daha iri çapta ve yoğun renklerde çiçeklere ve yapraklara sahip olmaktadır. Özellikle daha geniş ve kalın yaprakları ile fotosentez potansiyelleri artmakla beraber kuraklığa karşı toleransı gelişmekte ve

tıbbi bitkilerde özellikle sekonder metabolit üretimi fazlalaşmaktadır (Ranney, 2006; Tepe ve ark., 2002; Dhawan ve Lavania, 1996; İlarıslan, 1990; Molin ve ark., 1982;). Ayrıca; poliploidizasyon, türler arasındaki üreme uyumsuzluğunun aşılmasında ve F₁ hibritlerinin kısırılığının onarımında kullanıldığı gibi (Pienaar, 1963; Roos ve Pienaar, 1966), çiçeklerin gelişmesini, renklerini ve çaplarını arttırdığından süs bitkilerinin ıslahında da yaygın olarak kullanılmaktadır (Atichard, 2013). Farklı poliploid seviyelerinde, bitkilerin üretilmesinde, genellikle başarıyla kullanılmasından dolayı kolhisin kromozom katlamasındaki etkinliğinden dolayı en yaygın kullanılan anti-mitotik ajanlardandır (Atichard, 2013; Chen ve ark., 2009; Thao ve ark., 2003).

Kolhisin (C₂₂H₂₅O₆) *Colchicum autumnale* L. isimli güz çiğdemi bitkisinin köklerinden elde edilen antimitotik aktiviteye sahip doğal bir alkaloiddir (Bakeslee ve Avery, 1937; Genç ve Yağbasanlar, 1993). Kolhisinin uygulandığı dokuların hücrelerinde mitoz bölünmenin metafaz safhasında iğ ipliklerinin oluşumunu engeller ve replikasyona uğramış kromozomların kutuplara çekilmesini önleyerek, kromozom sayısının iki katına çıkmasını sağlar (Sundov ve ark., 2005; Köksal, 1999). Poliploid indüksiyonunda birçok bitkide kolhisin uygulaması (Buğday, kahve, elma, gül, patates, havuç, şeker pancarı, orkide ve muz gibi ekonomik türlerde) ortak bir araç olarak kullanılmaktadır (Hermesen ve De Boer 1971; Sloan ve Camper 1981; Luckett, 1989; Thao ve ark., 2003; Sundov ve ark., 2005; Hansen ve ark., 2006).

Geleneksel yöntemlerle in situ bitki organlarına veya tohumlara uygulanan kolhisin uygulamaları genellikle kimerik bitki oluşumu ile sonuçlanmaktadır (Chen ve ark., 1994). Çeşitli bitkilerde in vitro kolhisin uygulaması ile daha yüksek ve daha verimli poliplodizasyon elde edildiği ve kimerik bitki sayısında azalma meydana geldiği belirtilmiştir (Griesbach, 1981; Espino ve Vazquez, 1981; Takamura ve Miyajima, 1996). Yumrulu ve soğanlı (anemone, lilyum, sıklamen, *Ornithogalum* L., *cassava*) türlerde poliploid bitkilerin elde edilmesinde in vitro kültür yöntemi en başarılı metotlardan biridir. İn vitro koşullarda kolhisin uygulanarak bu yumrulu ve soğanlı bitkilerde organ ve bitki boyutunda artış sağlandığı, aynı zamanda tetraploid bitkiler elde edildiği bildirilmiştir (Hussey, 1976; Takamura ve Miyajima, 1996; Jacob ve ark., 1997; Van Tuyl ve ark., 1992; Wang ve Lei, 2012; Zhou ve ark., 2017).

Poliploid bitkilerin belirlenmesinde morfolojik, stomatal ölçümler, flow sitometri ve kök ucu kromozom boyaması yöntemleri kullanılmaktadır. Kromozom katlaması olan bitkilerde stoma çapı artmakta, hücre çekirdeğinde kromozomların sayısı arttığı için bitki hacimsel olarak artmaktadır. Poliploid bitkilerin tespitinde morfolojik ve sitolojik gözlemler yaygın olarak kullanılmaktadır.



Resim 1: Kök ucu kromozom boyama ile mikroskop altında poliploid bitkilerde kromozom sayımı. *Serapias vomaracea* (Diploid ($2n=36$)) türüne ait olgunlaşmış tohumlar kullanarak, *in vitro* kültürde çimlendirilerek protokorm eldesi, elde edilen protokormlara yarı katı besi ortamında %0.08 kolhisin dozunun 5 gün süre uygulanması sonrası *in vitro* kültürden elde edilen poliploid fidenin kök ucundan kromozom sayılarının tespiti (Tetraploid ($2n=4x=72$)) (Bulunuz Palaz, 2018).

1.3. Türler Arası Melezlemelerden Sonra Embriyo Kültürü

Embriyo kültürü terimi, olgun tohum embriyolarının veya olgunlaşmamış pro-embriyoların izolasyonu ve *in vitro* koşullarda kültüre alınarak canlı bir bitki elde etmek amacıyla embriyoların büyütülmesidir. Diğer bir deyişle embriyo kültürü yumurtalık içindeki embriyoların yaş, büyüklük ve gelişim aşaması ne olursa olsun doğal ortamlarından kesilerek aseptik şartlarda yapay besi ortamlarında kültüre alınarak kurtarılması ve bitki gelişmesinin sağlanmasıdır. Doku kültürü teknikleri arasında embriyo kültürü (embriyo kurtarma) ilk çalışmalarındandır. İslahçılar tarafından embriyo kültürü melezlemeler sonrası embriyo absorpsiyonun önlenmesi ve ıslah sürecinin kısaltılması için önemlidir. Ayrıca embriyo kurtarma *in vitro* kültüre alınan organa bağlı olarak embriyo, ovul, yumurtalık kültürü olarak adlandırılır. Aynı cins veya farklı cinslerde iki farklı bitki türünün çaprazlamasını içeren hibridizasyonda genellikle zigot

oluşumu, zigot gelişimi ve hibrit fide gelişimi başarısızlıkla sonuçlanır. Bunun nedenleri; Polen tüpünün embriyo kesesine ulaşamaması (döllenme öncesi bariyer), zigot gelişiminin başarısızlığı (döllenme sonrası bariyer), öldürücü genler, iki ebeveyn türü genomları arasındaki genotipik uyumsuzluk, kromozom eliminasyonu, uyumsuz sitoplazma ve endosperm abortsiyonudur. Embriyo kültürü bu sorunların çözümü için en sık türler arası çaprazlama ve doğal olarak tam gelişemeyen embriyoları kurtarmak için kullanılır (Kumari ve ark., 2019). Embriyo kültürü 2 yöntemle yapılmaktadır;

A. Olgun Embriyo kültürü: Gelişimini tamamlamış tohumların olgun embriyolarının izole edilerek in vitro kültürde bitki elde edilmesidir. Sıklıkla tohum kabuğu ve endospermdeki bazı engelleyicilerden dolayı tohum çimlenmesini kısıtlayan tohum dormansisinin ortadan kaldırılmasında ve daha kısa sürede tohum çimlenmesinde uygulanmaktadır.

B. Olgunlaşmamış embriyo kültürü: Gelişimini tamamlamamış tohumların olgunlaşmamış embriyolarının izole edilerek in vitro kültürde embriyonun büyütülerek tam teşekküllü bitki elde edilmesidir. Genellikle doğal koşullarda bitki üzerinde gelişimini tamamlayamayan (örneğin endosperm dejenerasyonu) melez embriyoların, in vitro kültüre alınarak kurtarılmasında kullanılmaktadır.

İki uzak tür arasındaki melezlemede endosperm dokusunun dejenere olması (örneğin endosperm bozulması) ile embriyo gelişimi engellenerek (embriyo abortu) canlı bitki gelişemez. Melez embriyonun, gelişerek tohum oluşturmaya engel olacak aksaklıklardan önceki dönemde in vitro kültüre alınması gerekir. Türler arası melezleme sonrası böyle embriyolar (hibrit) takip edilerek in vitro kültür koşullarında kültüre alınarak hibrit bitkiler geliştirilir ve bu işlem embriyo kurtarma (embryo rescue) olarak bilinir.

Hanning 1904 yılında ilk kez *Cochlearia* × *Raphanus* arasında çaprazlama ile elde edilen melezin olgun embriyosunu izole ederek in vitro kültüre almış ve hibrit bitkileri başarıyla elde etmiştir. Dietrich 1924'te birçok bitki türünün olgun ve olgunlaşmamış embriyolarının dormansi isteklerini tamamlamadan çimlenip çimlenmeyeceklerine bakmak için in vitro kültüre almıştır. Olgun embriyoların hemen büyüdüğü ve dormansiyi atlattığı bildirilmiştir. Olgunlaşmamış embriyolarında erken yaşta filizlendiği belirtilmiştir. Laibach tarafından 1925 yılında ilk kez türler arası hibridizasyon sonrası zigotik embriyo kültürü tanımlanmıştır. *Linum perenne* L. x *Linum austriacum* L. arasında yapılan melezlemeden sonra elde edilen tohumların cansız olduğu gözlemlenmiştir. Tohum gelişiminin erken safhasında zigotik embriyolar izole edilip in vitro kültüre alınırsa embriyo abortusunun üstesinden gelinerek doğal olarak gelişemeyen bu melezlerin zigotik embriyo kültürü ile geliştirildiği bildirilmiştir. Van Overbeek ve ark., 1941'de hibrit *Datura* bitkisinin embriyolarını hindistan cevizi sütü içeren besi ortamında kültüre alınmışlardır. Bu

araştırmada embriyo gelişimi ve kallus oluşumunda amino asitler şeklinde indirgenmiş N (azot) önemi keşfedilmiştir (Bridgen, 1994). 1940 yılından itibaren günümüze kadar embriyo kültür çalışmaları artarak devam etmiştir. Bitki cins ve türler arasındaki veya cins ve türlerin kendi içindeki melezlemeleri sonucu ortaya çıkan olgunlaşmamış embriyoların kurtarılarak melezleme uyulaşmazlığının önlenmesinde kullanılmaktadır. Embriyo kültür tekniği ışlah için önemli bir yöntemdir.

1.3.1. Embriyo kültürünün kullanım alanları ve avantajları

1- Sıklıkla embriyo kültürü ışlah da bitki cins ve türler arasındaki veya cins ve türlerin kendi içindeki melezlemeleri sonucu ortaya çıkan melezleme uyulaşmazlığının önlenmesinde, olgunlaşmamış embriyoların kurtarılmasında kullanılmaktadır. Türler arası çaprazlardan sonra doğal olarak tam olarak olgunlaşamayan, zayıf, hibrit embriyoların (çekirdeksiz meyveler ve erken olgunlaşmada embriyonun düşmesinde) yapay besi ortamında gelişimi sağlanarak kurtarılması ile ışlahçılar tarafından önemli bir yöntem olmuştur.

2-Diploid ve tetraploidler arasındaki çaprazlama sonucu oluşan triploidlerin embriyoları, embriyo kurtarma ile in vitro kültüre alınarak bitki gelişimi sağlanmaktadır,

3-Embriyogenik gelişim için fiziksel şartların ve beslenme gereksinimlerinin anlaşılmasında (Bridgen, 1994),

4-Tohum dormansisinin atlatılmasında kullanılmaktadır. Örneğin tohum kabuğunun sertliğinden veya endospermdeki bazı

engelleyicilerden dolayı dormansi gösteren tohumlarda embriyo kültürü ile daha kısa sürede çimlenme elde edilir,

5-İslah sürecinin kısaltılmasında,

6-Tohum canlılığının tespiti,

7-Mikroçoğaltım için embriyolar mükemmel materyallerdir. Özellikle kozalaklı ağaçlar ve Gramineae familyasının nadir bitkileri için,

8-Haploid bitki elde etmede kullanılmaktadır. Uzak türler arası melezme sonucu oluşan ebeveynlerden birisinin kromozomlarının yok olması (kromozom eliminasyonu) sonucu haploid embriyolar oluşmaktadır. İn vitro koşullarda bu embriyoların gelişmesi sağlanarak haploid bitkiler elde edilmektedir,

9-Çekirdeksiz triploid embriyoların kurtarılmasında kullanılmaktadır,

10-Zorunlu obligat (parazit) tohumların, konakçı olmadan in vivo şartlarda çimlenmesi çok zor hatta bazı türlerde imkânsızdır. Bu tohumlar embriyo kültürü ile besi ortamlarında rahatlıkla çimlendirilmektedir. Örneğin endospermi olmayan orkide tohumları mikorizal funguslarla simbiyotik ilişki ile (*Rhizoctonia* sp. fungus türleriyle) tohumları in vivo koşullarda çimlenememekte ya da çok az çimlenmektedir. Orkide tohumları bugün in vitro kültürde asimbiyotik olarak çimlendirilmekte ve kısa sürede elde edilen fidelerin seri şekilde ticari üretimi yapılmaktadır.

11-Tohumlarda morfogenez ve beslenme gereksinimlerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

12-Işınlanmış polen tekniği kullanılarak haploid bitki elde edilmesinde embriyo kurtarma tekniğinden yararlanılmaktadır ve bu iki tekniğin kombine kullanılması ile haploid bitki uyarımı çok yaygın

ve etkili şekilde kullanılmaktadır. Bu teknik ıslahçılar tarafından birçok bitkide (*Prunus domestica* (Peixe ve ark., 2000), *Curcubita pepo* (Kurtar ve ark., 2002; Koşmrlj ve ark., 2013), *Cucumis melo* (Lotfi ve ark., 2003; Nasertorabi ve ark., 2012), watermelon (Sarı, 1994; Moussa ve Salem, 2009), başarılı şekilde kullanılmaktadır.

1.3.2. Embriyo kültürünün başarısını etkileyen faktörler

Kültüre alınmış embriyolardan bitki elde etme başarısı en çok embriyonun olgunlaşma safhasına ve besi ortamı birleşimine bağlıdır (Haslam ve Yeung, 2011). Olgun embriyoların *in vitro* kültürü olgunlaşmamış embriyoların kültürüne göre daha kolaydır ve bitki elde etme başarısı daha yüksektir. Çok küçük olgunlaşmamış embriyolar izole edilirken endosperm, hipokotil doku parçaları ile *in vitro* kültüre alınarak bitki geliştirme şansı arttırılmaya çalışılmaktadır. Besi ortamı katılaştırıcısı olarak genellikle agar kullanılmaktadır. Embriyo kültüründe genellikle besi ortamına %0,5-%1,5 konsantrasyonlarında agar ilave edilmektedir (Hu ve Wang, 1986). Yüksek konsantrasyonda agar kullanılması mevcut suyun azalmasına ve embriyonun büyümesine engel olur. Besi ortamının seçimide embriyo kültürünün başarımı en çok etkileyen faktörlerdendir. MS (Murashige ve Skoog (1962)) ve Gamborg'un B5 ortamı (Gamborg ve ark., 1968) ve bunların belirli derecelerde modifikasyon edilmiş halleri embriyo kurtarmada en yaygın kullanılan bazal ortamlardır. Embriyoların beslenme gereksinimleri onların evresine bağlıdır. Besi ortamındaki makro, mikro elementler ve şeker buna göre ayarlanmalıdır. Embriyo kültüründe şeker kaynağı olarak

sukroz, früktoz ve glikoz kullanılmaktadır. Bunlar içinde genellikle sukroz kullanılmakta ve daha iyi sonuçlar alınmaktadır. Sukroz, besi ortamında öncelikle enerji kaynağı olarak kullanılması ve ozmotik basıncın korunmasında rol oynaması açısından önemlidir. Olgun embriyoların kültüründe %2-3 sukroz besi ortamına ilave edilmektedir. Olgunlaşmamış embriyoların kültüründe %8-12 sukroz besi ortamına ilave edilmektedir (Bridgen, 1994). Genellikle izolasyon edilen embriyo ne kadar genç ise o kadar yüksek ozmotik basınç olması istenir. Bunun nedeni genç embriyo kesesi içindeki yüksek ozmotik basıncın taklit edilmesidir. Embriyo kültüründe besi ortamına bitki büyüme düzenleyiciler (BBD) ilave edilmez. Bunun nedeni endospermlerin hormon içerdiği ve embriyonun gelişmesini bu hormonlarla sağlayabileceği fakat türler arası melezleme sonucu oluşan melezlerin endospermi tam oluşmadığı için melez embriyoların in vitro kültüründe BBD ilave edilmektedir. Sitokininler, tek hormon olarak kullanıldıklarında etkisizdir veya genç embriyo büyümesini çok az destekler. Ancak bazı oksinlerle sitokininler kombine edildiklerinde embriyoların büyümesini ve farklılaşmasını desteklerler (Veen, 1963). Monnier (1978), hormonların yapısal anormalliklere neden oldukları için embriyo kültür ortamına ilave edilmemesi gerektiğini öne sürmektedir. Oksinler ve sitokininler, kallus indüksiyonu gerekmedikçe genellikle embriyo kültürü için kullanılmaz. Giberellinler bazen erken çimlenme uyarımı için ve dormansinin kırılmasında kullanılmaktadır (Bridgen, 1994). Kültür ortamına ilave edilen aminoasitler embriyoyu büyümesi için teşvik eder (Bhojwani ve Razdan, 1983). İn vitro kültüre alınmış embriyonun

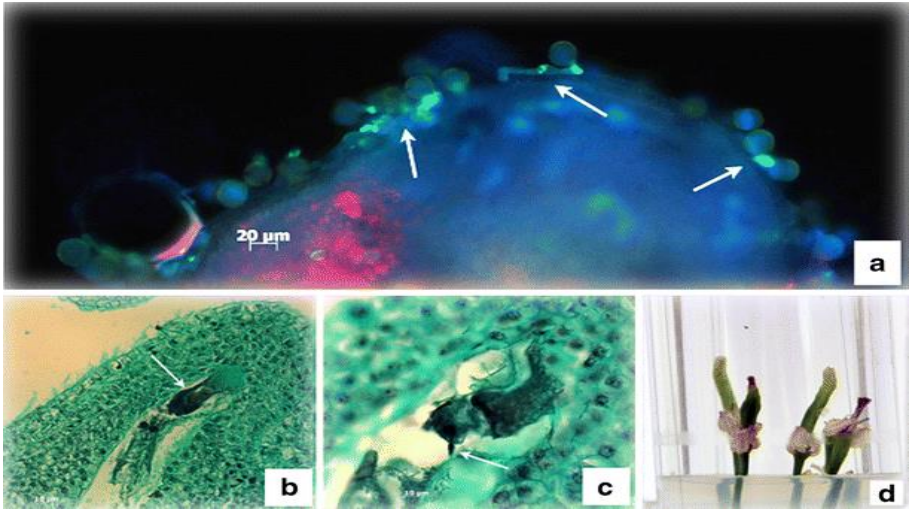
büyümesinde en etkili Glutamin aminoasitidir (Monnier, 1978). Tabii ki bir embriyonun başarılı gelişimi birçok faktöre bağlıdır. Embriyo kültürünün başarısını öncelikle bitki genotipi, ana bitkinin yetiştirilme koşulları, diğer in vitro çalışmalarda olduğu gibi büyük ölçüde etkiler.

1.4. İn Vitro Tozlanma ve Döllenme

In vitro tozlaşma ve döleme, laboratuvar ortamında kontrollü koşullar altında gerçekleştirilir. Öncelikle ovaryum bitkiden izole edilir. İzole edilirken stil veya stigma olup olmaması önemli değildir. Daha sonra izole edilen kısım besi ortamına yerleştirilir. Stigmaya uygulanan polen doğal olarak çimlenir ve yumurtalıklar döllenir. İn vitro tozlanma ve döllenmede besi ortamına ilave edilen şekerin konsantrasyonu, kalsiyum ve borat polen tüpünün çimlenmesinde en önemli faktördür (Vervaekeet ve ark., 2004). Döllenme olayından sonra in vitro beslenme ile tohumlar gelişir. İn vitro tozlanma ve döllenme, erkek ve dişi organların izolasyonunu ve in vitro döllenme ile zigottan tam bir bitkinin rejenerasyonunu içermektedir. Kanta ve ark., 1962 yılında *Papaver somniferum* bitkisinde plasentaya bağlı ovuller olgunlaşmış polen ile tozlanarak in vitro tozlanma ve döllenme ilk kez rapor edilmiştir. İn vitro döllenme çalışmaları Papaver için kullanılan orijinal yöntemin diğer türlerde uygulanması ve geliştirilmesine odaklanmıştır. Ovaryumunda çok sayıda ovül içeren Brassicaceae, Caryophyllaceae, Papaveraceae, Liliaceae, Primulaceae ve Solanaceae familyalarında başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Rangaswamy, 1977; Zenkteler, 1999; Sosnowska ve Cegielska-Taras, 2014). Özellikle yumurtalığın olgunlaşmadan öldüğü *Pisum sativum*

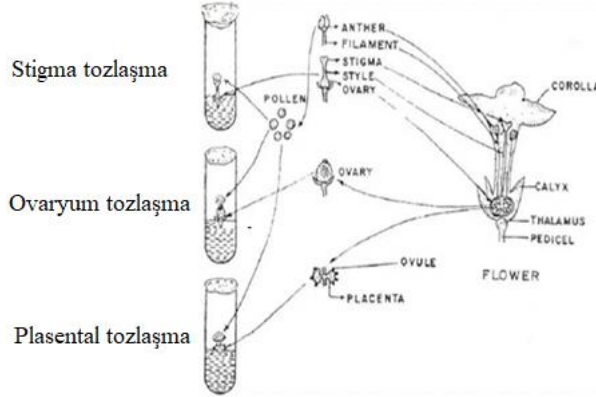
türlerinde in vitro kültürde stigma tozlaşması uygulanarak tohum elde edilmektedir.

İn vitro tozlaşma ve yumurtalık (ovaryum) içi tozlaşma için ön adımlar şunlardır: (1) Çiçeklenme zamanının belirlenmesi, anterlerin ayrılması, tozlaşma, polen tüpünün ovullere girişi ve dölllenme, (2) Çiçek tomurcuklarının emaskülasyonu, (3) Polen tanelerinin toplanması. İn vitro tozlamada temel prensip polen ve ovüllerin toplanması sırasında uygun sterilizasyon yöntemleriyle sterilizasyonun sağlanarak korunmasıdır (Bhojwani ve Razdan,1996).



Resim 2: Stigma (Dişicik tepesi) ve dişicik borusunun (style) engelleyici bariyerlerinden dolayı bu kısımların çıkartılarak sadece *Brassica oleracea*'nin yumurtalık kısmının MS besi ortamında kültüre alınması ve *Brassica rapa*'nın polenleri ile in vitro tozlanması; a. Tozlaşmadan 24 saat sonra, *Brassica oleracea*'nin açılmış ovaryumunun *Brassica rapa* türü ile tozlanması ve *Brassica rapa*'nın polen tanelerinin çimlenmesi, c. Tozlaşmadan 48 saat sonra *Brassica oleracea* embriyo kesesine giren *B. Rapa*'nın polen tüpü, c) *Brassica rapa*'nın erkek gameti, *Brassica oleracea*'nin yumurtalık hücresine girer, d- *Brassica oleracea* × *Brassica rapa*'nın büyümüş ovaryumu. Kültürden 24 gün sonra olgunlaşmamış tohumlardan gelişen embriyolar (*B. oleracea* × *B. Rapa*) izole edilerek MS ortamına aktarılarak embriyolar kurtarılmıştır (Sosnowska ve Cegielska-Taras, 2014).

İn vitro tozlanma türleri; 1. Stigma tozlaşması: erkek organları uzaklaştırılmış bir çiçek bilinen sterilizasyon yöntemleriyle sterilize edilerek dişi organ besin ortamına yerleştirilir. Sterilize edilmiş olgun bir anterden alınan polen stigma üzerine yerleştirilir. 2. Ovaryum tozlaşma: Sterilize edilmiş çiçekten mikroskop altında kesip çıkarılan (eksize edilen) ovüle polen uygulaması, 3. Ovaryum tozlaşması: Eksize edilen yumurtalığa polen uygulaması, 4. Plasental tozlaşma: çiçek sterilize edilir ve plasentaya bağlı ovüller çıkartılarak besi ortamına yerleştirilir. Sterilize edilmiş anterlerin içinden polen taneleri ovüllere yakın bir yere yerleştirilerek polen tanelerinin çimlenerek embriyoyu dölleyip döllemediği kontrol edilir.



Şekil 3: İn vitro tozlanma türleri

(Kaynak: <https://www.ramauniversity.ac.in/online-studymaterial/>).

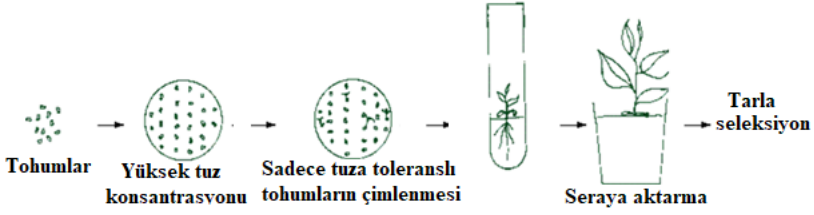
İn vitro tozlanma uygulamalarına baktığımızda; ıslah çalışmalarında bitkilerin genetik manipülasyonu, hibridizasyon çalışmaları, haploid bitki üretimi ve strese dayanıklı bitkilerin üretimini içermektedir. Ana bitki üzerinde çiçek olgunlaşmadan döküldüğü durumlarda tohum elde

edilmesi içinde kullanılır. Örneğin; seksüel uyumsuzluk, arzu edilen melezlerin geliştirilmesinde ciddi bir handikapdır. Bu durumda polen stigma üzerinde filizlenemez veya polen tüpü yumurtalığa ulaşmadan önce gelişimi durur veya patlar (Bhojwani ve Dantu, 2013). Bu durumlarda ve çok uzak türler çaprazlamada kullanıldığında bitki üzerinde tozlanmanın olmadığı durumlarda in vitro tozlanma yöntemleri kullanılmaktadır. İn vitro polen çimlenmesi, polen canlılığını test etmek içinde güvenilir bir yöntemdir. Aynı zamanda eşeyli üreme ile ilgili birçok temel sorununda cevaplarının alınmasına olanak sağlar. Bu teknik çoğunlukla çiçekçilikte yeni form ve renklerde ticari çeşitler üretmek için kullanılmaktadır. İn vitro tozlanma ve dölleme tekniğinin kullanımı geleneksel ıslah yöntemlerine göre henüz yaygın olarak kullanılmamaktadır. Bunun nedeni bu tür tekniklerin doğal türlerin özgünlüğünü ihlal eden yöntemler olmasıdır. İn vitro dölleme tekniği özellikle pirinç ve mısır olmak üzere bu iki bitkide geliştirilmiştir. Aslında bu teknik in vivo koşullarda çiçekli bitkilerde mümkün olmayan dölleme ve dölleme sonrası oluşan sürecin gözlemlenmesi (polen fizyolojisi) ve analiz edilmesi için paha biçilmez bir yardımcıdır (Bhojwani ve Dantu, 2013).

1.5. İn Vitro Seleksiyon

Bitkiler, dokular ve hücreler farklı substratlar içerisinde in vitro kültüre alınabilirler. İslahçılar belirli maddelere karşı toleranslı bitkileri seçmek isterlerse o maddeyi (örneğin; tuz, toksik maddeler, herbisit) substrata ekleyebilir. Aynı zamanda diğer stres faktörlerinden

aşırı sıcağa, soğuğa, kuraklığa ve düşük toprak verimliliğine toleranslı bitkilerde selekte edilebilir. Klasik bitki ıslahında kullanılan seleksiyona benzer bir yöntem olmasına karşı in vitro seleksiyonda hücre kültürlerinden varyasyon yaratılması ve arzu edilen varyantların seçilmesi gibi birçok avantajı vardır (Lammerts van Bueren ve ark., 1999). Özellikle somaklonal varyasyondan yararlanılarak birçok stres faktörüne karşı dayanıklı hücre hatlarının seçilmesi ve bunlardan bitki elde edilmesi laboratuvar koşullarında daha kontrollü koşullarda ve daha kısa zamanda olabilmektedir. Bir test tüpü içerisinde 100 milyon adet hücreyi kültür etmek ve bunlardan seleksiyon yapmak mümkündür. Buna karşılık aynı sayıdaki bitki ile çalışmak için 10 bin hektar bir alana gereksinim duyulur (Hatipoğlu, R., 2008). Aslında tarlada değerlendirilmesi gereken bitki sayısını azaltan bir ön seçimdir. İn vitro dönemde bitki normal büyüme ortamında olmadığı için gene ön seçimi geçen bitkilerin dış koşullarda tekrar test edilerek toleranslıklarını kanıtlamaları gerekir. Çünkü bitki ile çevre arasındaki etkileşim genetik özellikleri kadar önemlidir. Aynı zamanda bazı bakteri ve mantar patojenleri tarafından üretilen toksik maddeler hassas bitkilerin protoplastlarına zarar verirken dayanıklı bitkilerin protoplastları etkilenmemektedir. Dayanıklı bitkiler protoplast düzeyinde selekte edilebilmektedir (Hatipoğlu, R., 2008).



Şekil 4: İn vitro seleksiyon; yüksek tuz konsantrasyonuna toleranslı bitkilerin seleksiyonu (Lammerts van Bueren, E.T. ve ark., 1999).

1.6. İn vitro Bitki Üretiminde Somaklonal Varyasyon

İN vitro kültür koşullarında klonal olarak çoğaltımı yapılan yavru bitkiler aseksüel çoğaldığı için ana bitki ile genotip ve fenotip bakımından aynı karakterde olması beklenir. Ancak in vitro kültür aynı zamanda somaklonal varyasyon olarak da adlandırılan istenmeyen varyasyonlara sebep olabilir. Somaklonal varyasyon ilk kez şeker kamışı ile yapılan çalışmalarda tanımlanmıştır. Şeker kamışının kallus kültürlerinden elde edilen bitkilerinin ana bitki ile aynı karakterde olmadığı görülmüş ve bitkilerde gözlenen bu değişiklikler somaklonal varyasyon adı ile anılmaya başlanmıştır (Larkin ve Scowcroft, 1981). **Somaklonal varyasyon**, doku kültürü yöntemi ile üretilen bitkilerin DNA yapılarında baz eklenmesi, silinmesi gibi kromozomların bir takım sayısal ve yapısal değişikliklere uğraması ve bu değişikliklerin kalıtılması durumuna verilen isimdir. Kısaca doku kültüründe kalıtsal olarak gerçekleşen değişikliklerin tümüne somaklonal varyasyon denilmektedir. Ancak doku kültüründe yetişen bitkilerdeki fenotipik değişim her zaman genetik yapı kaynaklı olmayabilir ve kalıtımsal değildir. Böyle değişikliklere '**Epigenetik varyasyon**' denir. Epigenetik varyasyonun

frekansı somaklonal varyasyona göre daha düşüktür, önceden tahmin edilebilir ve geri dönüşümü mümkündür. Oysaki somaklonal varyasyonlar geri dönüşümü olmamakla birlikte yavru döllere aktarılır ve önceden tahmin edilemez. İn vitro somaklonal varyasyonda ana bitkinin DNA dizilimindeki değişim, daha üstün nitelikli bireylerin yakalanması ihtimalini beraberinde getirdiğinden bitki ıslahında oldukça önemlidir. Bitkinin in vitro kültür koşullarında rejenerasyonunu sağlamak için yapılan bazı işlemler somaklonal varyasyonları tetikleyebilir ve genetik olarak yeni bireylerin oluşmasına neden olabilir. Doku kültüründe somaklonal varyasyonu etkileyen bazı faktörleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

1. Kullanılan in vitro kültürleme yöntemi; Rejenerasyonu hedeflenen bitkide meydana gelen moleküler değişikliğin seviyesi bitkilerin üretim metoduyla oldukça yakından ilgilidir. Genellikle eksplantın doku kültürüne alındıktan sonra geçirdiği farklılaşma evreleri ne kadar çok olursa mutasyon riski o kadar yüksek olur (Weckx ve ark., 2019). Herhangi bir ara kallus aşaması olmadan direkt bitkinin elde edildiği yöntemler (meristem kültürleri, direkt organogenesis, direkt embriyogenesis, boğum ve sürgün kültürleri) somaklonal varyasyon açısından düşük risklidir. Ancak çoğaltım tekniğine düzensiz bir ara kallus fazı, hücre süspansiyon kültürü veya protoplast kültürü eklenirse bitkinin genetik değişime uğrama, yani somaklonal varyasyon riski büyük ölçüde artmış olur (Bairu ve ark., 2011). Ayrıca bu düzensiz fazların uzun sürmesi de somaklonal varyasyon ihtimalini arttıran bir etkidir. Eksplant yerine protoplast

kullanımı da varyasyon ihtimalini arttırmaktadır (Babaoğlu ve ark., 2002).

2. Genotip; Farklı genotipler stres koşullarına farklı tepkiler vermektedir. Kimi genotipler strese daha dayanıklı iken kimileri stres koşulları karşısında daha kararsız olup somaklonal varyasyona daha yatkındır (Weckx ve ark., 2019). İki yulaf çeşidi ile yürütülen bir araştırmada bir genotipin diğerinden daha çok kromozom anomaliliği gösterdiği saptanmıştır (McCoy ve ark., 1982). Özellikle az kromozoma sahip diploid türlerde genetik varyabilite ihtimali daha düşüktür (Babaoğlu ve ark., 2002).

3. Eksplant türü; Kallus veya protoplast gibi farklılaşmamış düzensiz hücrelerden oluşan yapıların somaklonal varyasyona uğrama riski yüksektir. Fakat aksillar tomurcuklar ve sürgün uçları gibi bir farklılaşma fazından geçmeden rejeneren olan eksplantlarda somaklonal varyasyon görülme ihtimali düşüktür (Weckx ve ark., 2019). Ayrıca bazı durumlarda bitkilerin somatik hücrelerinde poliploidizasyon gerçekleşebilir ve farklı kromozom sayısına sahip olabilir. Buna, anormal mitoz bölünmeler sebep olur. Bu duruma endoreduplikasyon denilen, kromozom sayısının ikiye katlandığı ancak sitoplazmanın bölünmediği durumlar örnek gösterilebilir. Bu olay sonucu katlanmış poliploid hücreler oluşur. Sonuçta farklı somatik dokular farklı kromozom sayısına sahip olur. Polisomatik türler denilen bu bitkilerden alınan eksplantlar doku kültüründe farklı kromozom sayısına sahip bitkileri oluşturur. Poliploid türlerden alınan eksplantlar diploit türlere göre somaklonal varyasyonlara daha

duyarlıdır (Hatipoğlu, 2008). Ayrıca aksplant alınan doku kaynağı da genetik varyasyon oranını etkiler. Yaşlı dokulardan alınan eksplantlarda daha yüksek varyasyon görülür.

4. Eksplant hazırlığı; Doku kültürünün temel amaçlarından birisi olan steril koşullarda bitki büyütme için yapılan sterilizasyon işlemlerinde kullanılan kimyasallar bitkileri strese maruz bırakabilir. Eksizyon işlemleri de yaralanmaya sebebiyet vererek oksitativ hasar oluşturabilir. Tüm bu etkenler somaklonal varyasyonşarı tetikleyebilmektedir. (Cassells ve Curry, 2001; Weckx ve ark., 2019)

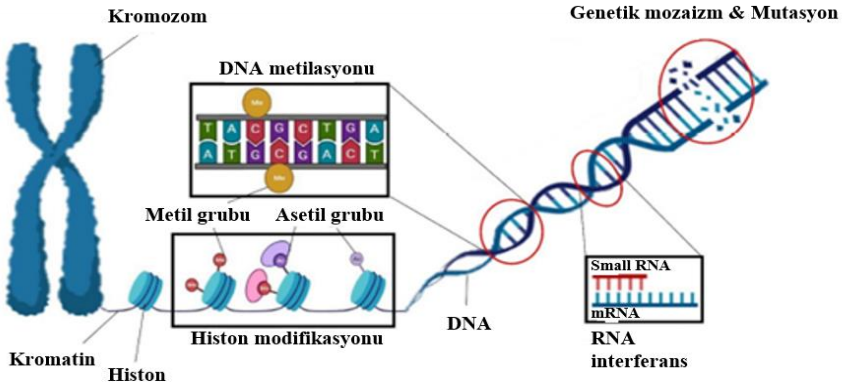
5. Besi ortamının içeriği; Kültür ortamının bileşimindeki hücre bölünmesini teşvik edici bazı maddeler hücrelerin ploidi düzeylerini arttırabilmektedir. Örneğin Pisum türünün kök parçaları (diploid hücrelerden oluşan), kültür ortamına maya ekstraktı, hindistan cevizi sütü veya kinetin eklenmesi ile kültüre alınan hücreler diploid, tetraploid ve oktoploid duruma gelmiştir. Ayrıca kültür ortamına eklenen şelatlayıcı ajanlar ve bazı metaller de mutasyon oluşumunu teşvik etmektedir (George, 1993; Babaoğlu ve ark., 2002).

6. Bitki büyüme düzenleyicilerin çeşidi ve konsantrasyonu; Besi ortamına eklenen bitki büyüme düzenleyicilerinin türü ve konsantrasyonlarının somaklonal varyasyona etkisi olduğu bilinmektedir. Oksin ve sitokinin grubu hormonlar hücre döngüsüne etki ederek hücrelerin genetik yapılarının değişiminde dolaylı yönden rol oynar. Örneğin kallus başlatılması ve devam ettirmesi için kültür ortamına oksinler grubundan 2,4-D eklenmesi aneuploidi, poliploidi ve endoreduplikasyon gibi karyotipik değişimlere neden olmaktadır

(Babaoğlu ve ark., 2002). Yine eltik bitkisinde kallus kültürleri ile yapılan çalışmalarda sitokininlerin de poliploid hücre oluşumunu teşvik ettiği belirtilmiştir (George, 1993). Bitki büyüme düzenleyicilerinin konsantrasyonu arttıkça somaklonal varyasyon ihtimali artmaktadır.

7. Kültür süresi ve alt kültür sıklığı; Bitkilerin uzun süre alt kültüre alınarak muhafaza edilmesi ve alt kültürler arasındaki aralıklarının uzaması somaklonal varyasyon gelişiminde etkilidir (Rival ve ark., 2013). Yapılan bazı çalışmalarda 6-18 ay gibi uzun süren kallus kültürlerinde genetik varyabilite oranları, 2-3 ay gibi kısa süren kültürlere göre daha yüksek bulunmuştur (Babaoğlu ve ark., 2002). Somaklonal varyasyonun gelişiminde sadece toplam srenin değil, aynı zamanda alt kültür aralıklarının uzunluğunun da rol oynadığı grlmektedir.

8. Stres; Bir bitki doğal ortamından alınıp in vitro dokuya dönüştürülmesi esnasında genomik bir şoka maruz kalır ve bu durum bitkiyi genom yapısını değiştirmeye zorlar. İn vitro ortamdaki bazı koşullar DNA metillenmesine bağlı gen ekspresyonunda değişikliklere sebep olarak genetik varyasyon gelişiminde rol oynar. Kültür ortamına nükleik asit öncüllerinin eklenmesi sınırlı olduğu için bu öncüllerin kaybı da nükleik asit biyosentezini sınırlandırarak gen mutasyonlarına sebep olabilir.



Şekil 5: Somaklonal varyasyonu etkileyen faktörlerin şematik görünümü (Hesami ve ark. 2021).

1.6.1. Somaklonal varyasyonu belirleme yöntemleri

Somaklonal varyasyonlar morfolojik, fizyolojik, moleküler veya sitogenetik teknikler kullanılarak tanımlanabilir (Bairu ve ark., 2011). Morfolojik açıdan kalitatif ve kantitatif karakterlerin ölçülmesiyle somaklonal varyasyon oranı hesaplanabilir. Populasyondaki belirgin morfolojik değişimlerin oranı (yaprak şekli, bitki büyüklüğü, albinizm vb.) ve standart sapma değerleri somaklonal varyasyonun derecesini belirler. Sitofotometrik ve sitogenetik analizler doku kültüründeki bitkilerin genetik stabilitesini belirlemede faydalıdır. Kromozom sayısı değişimleri, analizleri erken dönemde yapılabildiğinden hızlı ve kesin sonuç verir. Bitkilerdeki genetik değişimin belirlenmesi amacıyla protein ve enzim polimorfizmlerinden faydalanılmıştır (Chomatova ve ark., 1990; Afrasiab ve ark., 2012). Somaklonal varyantların belirlenmesinde kullanılan protein ve izozim analizleri, genetik değişimleri tespit etmesine rağmen teknik, ontojenik

varyasyonların ve diğ er çevresel faktörlerin de etkisi altındadır. Bu tarz durumlarda somaklonal varyasyonun erken dönemlerde teŖhis edilmesi için moleküler markörlerden faydalanılabilir. Fossi ve ark., (2019) patates protoklonlarında genom sekanslaması ile kromozomlarda aneuploidi, kromozom segmentlerinde delesyon ve duplikasyonlar g zlemiŖtir. Somaklonal varyasyonu belirlenmesinde RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism), AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism), RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA), SSR (Simple Sequence Repeats), SCAR (Sequence Characterised Amplified Region) kullanılmaktadır (Korkmaz ve  olge en 2013; Min~ano ve ark., 2009; Marum ve ark. 2009; Polanco ve ark., 2002). Son yıllarda DNA dizileme tekniklerinin geliŖmesiyle birlikte tek nükleotid polimorfizmleri (SNP'ler)'nin saptanması somaklonal varyasyonun altında yatan faktörleri erken dönemde saptanmasını mümkün kılmaktadır (Ryu ve ark., 2019).

1.6.2. Somaklonal varyasyonun bitki ıslahında kullanımının avantajları ve dezavantajları

Doku kültüründe ortaya çıkan somaklonal varyasyonların hem iyi hem de kötü sonuçları olabilir. Bitki ıslahında somaklonal varyasyonu en önemli avantajı hızlı bir Ŗekilde geniŖ bir genetik varyasyon kaynağı oluŖturması ve in vitro seleksiyona olanak tanınmasıdır. Özellikle eŖseysiz çoğalan ve varyasyonun sınırlı kaldığı apomiktik türlerde alternatif ıslah metotları yetersiz kaldığında somaklonal varyasyon  mit vadetmektedir. Bu sayede  eŖitli hastalık ve zararlılara dayanıklı

türler geliştirilmiştir. Örneğin *Erwinia amylovora* ya dayanıklı elma (Chevreau ve ark., 1998), *Fusarium*'a dirençli muz (Hwang ve Ko, 2004), *Colletotrichum Gleosporiensis*' e dirençli mango (Litz ve ark., 1991), tuz stresine dayanıklı patlıcan (Hannachi ve ark., 2021) örnek verilebilir. Özellikle Protoplastlarla yapılan bazı çalışmalarda aynı protoklondan alınan yaprakların somaklonal varyasyon profillerinin farklı olduğu görülmüş ve ıslahçılar bu varyabiliteden yararlanmışlardır (Fossi ve ark., 2019; Eeck ve ark., 2020). Bitki ıslahında somaklonal varyasyonun en önemli faydalarından birisi de yüksek frekansta kromozom katlanması ile poliploid bitkilerin elde edilebilmesidir. Genomda gerçekleşen bu varyasyonlar sonucu bitkilerin agronomik özellikleri değişebilir. Bu sayede hastalıklara ve çevre koşullarına dayanıklı, başaklanma ve olgunlaşma tarihi daha elverişli, tane verimi, protein içeriği, tane kalitesi yüksek yeni türler geliştirilebilir. Doku kültürü sıklıkla gen kaynaklarının uzun süreli korunması için kullanılır böyle durumlarda genetik bütünlüğün korunması temel amaç olduğu için herhangi bir olası genetik varyasyon sorun teşkil edebilir. Ayrıca somaklonal varyasyonun sonucunu öngörmek olanaksızdır. Somaklonal varyasyon genotipe özgü olduğu için bir çeşitte elde edilen varyabilite diğer çeşitlerde aynı etkiyi göstermeyebilir. Poliploidi elde etme imkânı olsa da bu durum bazen istenmeyen sonuçlara yol açabilir. Örneğin bitki büyümesi veya fertilizasyonda istenmeyen etkiler ortaya çıkabilir. Sonuç olarak somaklonal varyasyon bitki doku kültürü ile kültüre alınan bitkilerde önemli bir varyasyon kaynağıdır. Islah sürecinde somaklonal varyasyondan yararlanmanın bazı sınırlayıcı faktörleri

olsa da yeni gelişen DNA dizi analizi teknikleri sayesinde erken dönemde karşılaşılabilecek sorunlar öngörülerek bertaraf edilebilmektedir.

1.7. Protoplast Kültürü

Bitki hücrelerinin plazma membranları selüloz, hemiselüloz, pektinler ile az miktarda lipid ve proteinden oluşan bir hücre duvarına sahiptir. Hücre duvarı hücreyi osmotik değişiklikler sonucu patlamaktan ve mikroorganizmalarla enfekte olmaktan korumaktadır. Bir bitki hücresinden mekanik veya enzimatik yollarla hücre duvarı uzaklaştırıldıktan sonra geriye kalan çıplak hücreye **protoplast** denir. Protoplastlar canlılığını sürdürebilecek ortamlarda yeni duvar oluşturabilir, mitotik bölünebilir dolayısıyla yeni hücre grupları ve sonrasında yeni bitkiler oluşturabilir. Protoplast çalışmalarının temel amacı tek bir adet hücreden bir bitki elde etmektir. Teoride her bitkinin tüm dokularından protoplast elde etmek mümkün olsa da her protoplasttan bitki elde etmek mümkün değildir (Babaoğlu ve Özcan, 2002) Bununla birlikte protoplastlar genetik iyileştirmelerde kullanılan çok faydalı araştırma materyalidir. Protoplast kültürlerinin bitki ıslahındaki kullanım alanlarına baktığımızda;

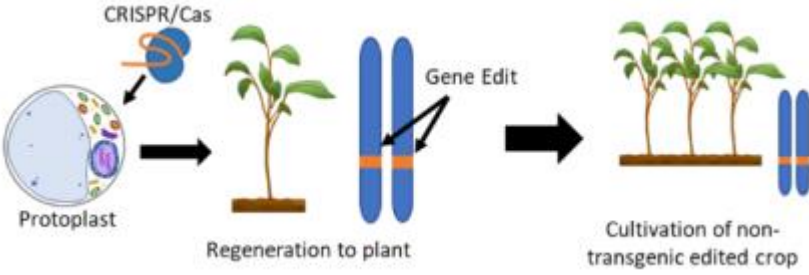
1. Somatik Melezleme; Protoplast kullanımındaki en önemli konu somatik melezlemedir. Protoplast füzyonu sayesinde eşeysel melezlemelerdeki olumsuzluklar aşılmış olur. Bitki ıslahında özellikle genetik varyasyonun arttırılmasında önemli metotlardan birisidir.

2. İn vitro Seleksiyon; Bazı toksik maddelere karşı duyarlılık veya dayanıklılık protoplast aşamasında seçilerek erken seleksiyon imkânı tanır.

3. Gen Transferi; Protoplastlar bitki hücre duvarı uzaklaştırılmış hücreler olduğu için çeşitli tekniklerle protoplastlara DNA transferi yapılmaktadır. Protoplastlar doğrudan gen transformasyonuna izin verdiği gibi mutant izolasyonu, hücre zarından besin maddesi girişi ve taşınması hücre organellerinin izole edilmesi ve hücre klonlamasıyla ilgili çalışmalarda da kullanılabilir (Babaoğlu ve Özcan, 2002)

4. Genom Düzenleme/Gen Editing; Protoplast kültürü, bitki rejenerasyonu, fonksiyonel genetik analizler, genom düzenleme ve hücre süreçlerin (örneğin, membran fonksiyonu, hücre yapısı ve hormonal sinyalizasyon) incelenmesi gibi araştırmalarda güçlü bir yöntem olarak kabul edilebilir. Doku kültürü teknikleri ve genom düzenleme teknolojilerinin kombine kullanımı, bitkilerin ıslah sürecini kısaltarak bitki ıslahında yeni bir döneme giriş imkânı sunmuştur. Zhang ve ark., (2019)'nın önerdiği CRISPR/Cas9 gen düzenleme teknolojisinin ortaya çıkması bitki genomlarının düzenlemesine fırsat vererek tarımda ileri yetiştirme teknikleri açısından bir çığır açmıştır. Bu yeni bitki ıslahı teknolojileri (NPBT; New plant breeding Technologies) sayesinde tarımsal pazarda önemli olan bitki türlerinde imkânsız olduğu düşülen yeni çeşitlerin kazandırılmasında olanak sağlaması ile bu tekniklerin kullanılması hızlanmıştır (Lassoued ve ark., 2021). Protoplast rejenerasyonu ve geçici gen transformasyonu yöntemi, konukçu genomuna yabancı genetik materyalin

entegrasyonuna izin verilmeden kendi genomu içerisinde düzenleme yapılmasıdır. Sonuçta elde edilen ürün transgenik değildir. NPBT, protoplast kültürüne uygulandığında çok daha avantajlıdır ve hızlı uygulanabilir.



Şekil 6: Protoplast kültürü kullanılarak genom düzenleme yönteminin şematik görünümü (Reed ve Bargman, 2021)

Son zamanlarda protoplast kültüründe NPBT uygulamalarına; patatesten granül bağımlı nişasta sentaz (GBSS) geninin devre dışı bırakılması örnek verilebilir (Andersson ve ark., 2018). Genel olarak protoplast kültürlerindeki asıl zorluk rejenerasyon sürecidir. Rejenerasyon kabiliyeti yüksek protoplastların tüm protoplastları içeren toplu hücre popülasyonundan nasıl ayırt edileceğinin bilinmesi gerekmektedir. Bu tür sorunları çözebilmek için transkriptomik analiz yöntemleri kullanılarak rejenerasyon sürecinin transkripsiyonel düzenlemesi hakkında bilgi edinme yaklaşımı önerilmektedir. Örneğin Arabidopsiste mezofil protoplastlarının kullanıldığı bir çalışmada, oksin biyosentezinin zamanlanmış transkripsiyonel aktivasyonunun rejenerasyon başarısını önemli ölçüde artırabileceği gösterilmiştir (Sakamoto ve ark., 2021).

1.7.1. Bitki protoplastlarının izolasyonu; Tekrarlanabilir ve kararlı protoplast izolasyonunun geliştirilmesi, protoplast kültürünün başarısı için en önemli koşullardan biridir. Protoplast kültüründe, kullanılan organ veya dokunun fizyolojik durumu, enzim ve solüsyonların tipi ve konsantrasyonu, osmotik denge rejenerasyon başarısını oldukça etkilemektedir.

1.7.2. Eksplant kaynakları;

1-Genotip; Protoplast izolasyonunda verim, canlılık ve rejenerasyon kapasitesi bakımından ana bitkinin genotipi önemlidir. Aynı bitkinin farklı çeşitlerinden veya ekotiplerinden elde edilen protoplastların rejenerasyon kapasitesi farklılık göstermektedir. Bu durum *Arabidopsis thaliana* ve bazı *Cyclamen* türleri ile yapılan çalışmalarda kanıtlanmıştır (Jeong ve ark., 2021; Prange ve ark., 2010).

2. Kullanılan doku veya organ; Protoplast izolasyonunda en yaygın kullanılan dokunun yenilenebilir olması büyük önem taşır. Genç sürgünlerden alınan açılmış yaprakların mezofil hücreleri protoplast izolasyonunda en uygun materyallerdir. Yaprak dokusuna ek olarak, embriyojenik kallus, hücre süspansiyonları, hipokotil, kotiledon, gövde parçaları, boğum arası, sürgün uçları, çiçek petalleri, mikrosporlar, embriyo, meyve kabuğu, gövde apikal meristemi, polen tanesi, skutellum, sepal, petal, aleuron, stoma hücreleri, yumru dokuları protoplast kaynağı olarak kullanılabilir (Babaoğlu ve Özcan, 2002; Hatipoğlu, 2018).

1.7.3. Başlangıç materyalinin büyüme şartları ve ön uygulamalar; Donör bitkinin büyüme koşulları, gelişme dönemi, kültür ortamının bileşimi, sıcaklık ve ışık protoplastların verim canlılık ve rejenerasyonunu etkileyen önemli faktörlerdir. Önemli olan bir diğer husus da protoplast elde edilecek materyalin steril olması gerekliliğidir. Bu amaçla bitkiler kontrollü çevre koşullarında (aseptik koşullarda, iklim odalarında veya seralarda) yetiştirilir. Eksplant alınmadan önce bitkilerin belirli sürelerde karanlıkta bekletilmesi turgor basıncının düşmesi sebebiyle protoplast izolasyonunu kolaylaştırır (Babaoğlu ve Özcan 2002). Dokuya uygulanan ön işlemler, kullanılan enzimlerin bitki hücre duvarına erişimini artırarak izole edilen canlı protoplastların sayısını arttırmakta etkilidir. Buna dokunun fiziksel olarak parçalanması (örneğin yaprak dokusunun kesilmesi) örnek verilebilir. Ayrıca bitki dokusunun enzim çözeltisi ile vakumlu infiltrasyonunun, enzimleri daha fazla sayıda hücreye ulaşmasını sağlayarak elde edilen protoplast verimini arttırmaktadır (Osakabe ve ark., 2018).

1.7.3.1. Enzimolisiz; Bitkilerin hücre duvarını parçalamak için selüloz ve pektinaz başta olmak üzere çeşitli enzimlerden faydalanılmaktadır. Protoplast izolasyonunda enzimler yalnızca yüksek sayıda protoplast elde etmek için değil aynı zamanda protoplastların canlılığını muhafaza etmek ve rejenerasyon kapasitesinin optimizasyonu için oldukça gereklidir. Protoplastlar osmotik dengeli ortamlarda kalmadığı müddetçe patlayabilir. Bir enzimolisiz periyodunun uzunluğu tipik olarak 2 ila 18 saat arasında

değişir (Reed ve Bargman, 2021). Ortam sıcaklığı da protoplast verimini etkileyebilir. Sıcaklık dalgalanmalarından meydana gelebilecek şokları en aza indirmek için donör bitkinin büyüdüğü ve protoplast kültürünün yapıldığı sıcaklıkların benzer olması gerektiği önerilmiştir (Reed ve Bargman, 2021).

1.7.3.2. Protoplast profikasyonu; Enzimolizi takiben hücre duvarından arındırılmış protoplastların hücre kalıntıları, sindirilmemiş dokular ve ölü hücrelerden arındırılmalıdır. Aksi takdirde protoplastlar canlılığını kaybedebilir. Bu amaçla protoplastlar bir yoğunluk gradientinde, sakkaroz veya fikol üzerinde yüzdürülerek istenmeyen yapılardan uzaklaştırılır.

1.7.4. Protoplast kültür ortamları; Protoplastların bölündüğü ve bitki rejenerasyonunun sağladığı ortamlardır. Protoplastların canlılığı ve bölünmesini sürdürebilmek için ihtiyaç duyduğu bitki büyüme düzenleyicileri, osmotik stabilizatörler, makro ve mikro besin elementleri ve katılaştırıcı ajanları içerir. Optimum protoplast kültür mediumunun içeriği aslında eksplant alınan doku kaynağına bağlı olmakla birlikte en çok kullanılan kültür ortamları MS (Murashige and Skoog, 1962), B5 (Gamborg, 1968), KM (Kao and Michayluk, 1975), Y3(Eeuwens, 1976), Nitsch (Nitsch ve Nitsch, 1969) veya bunların ufak modifikasyonlarıdır. Protoplastların patlamasını önlemek için uygun ozmolariteyi sağlamak amacıyla genellikle mannitol, sorbitol, sukroz, glukoz, miyoinositol veya bu bileşenlerin kombinasyonları kullanılır (Reed ve Bargman, 2021). Protoplastlar bölünmeye başladığı zaman ve hücre duvarlarını yeniledikçe ozmolarite

genellikle kademeli olarak azaltılır. Bitki büyüme düzenleyicilerinden özellikle oksin ve sitokininlerin kullanımı protoplastlardan mikrokallusların oluşması için gereklidir. En yaygın kullanılan sitokininler 6- benzilaminopurin (BAP), zeatin, kinetin, izopentenil adenin (ZiP) ve tidiazurondur (TDZ). En yaygın kullanılan oksinler; indol-3-asetik asit (IAA), indol-3-butirik asit (IBA), 2,4-diklorofenoksiasetik asit (2,4-D) ve naftalen asetik asittir (NAA). Oksin ve sitokininlerin optimum konsantrasyonları protoplastların genotipine ve doku kaynağına bağlı olarak büyük ölçüde değişir. Aynı zamanda polivinilpirolidon, antioksidanlar, aktif kömür, gümüş nitrat, antibiyotikler, kompleks organik bileşikler, amino asitler, poliaminler, gibi ek supplementler, protoplast bölünmesini ve mikrokallus oluşumunu desteklemek için kültür ortamına eklenebilir.

1.7.5. Protoplast kültür koşulları; Protoplastlardan mikrokallus oluşumu üzerinde kültür ortamının yarı katı veya sıvı oluşu, sıcaklığı, ışık şiddeti ve süresi, destek kültürlerinin varlığı etkilidir. Hem sıvı hem de yarı katı ortamların kullanımı literatürde kullanım örnekleri vardır. Her iki ortamın da olumlu ve olumsuz yönleri bulunmaktadır. Örneğin sıvı ortam hazırlanması daha kolay olup agar optimizasyonu gerektirmez ancak her bir hücreyi tek başına incelemek oldukça zordur. Ayrıca farklı özellikteki hücrelerde birleşme daha kolay olup sonuçta kallusta kimerizm görülme oranı artmaktadır (Deryckere ve ark., 2012). Buna karşılık yarı katı ortamlar hücre aglütinasyonunu önleyerek, hücrelerin fiziksel olarak

ayrılmasını sağlayabilir. Katılaştırıcı ajan olarak agar, agaroz veya aljinat kullanılabilir (Jones ve ark., 2015).

1.7.6. Protoplast kültürlerinden bitki rejenerasyonu; Protoplastlardan elde edilen mikrokalluslardan rejenerasyon, ortam içeriğindeki suplementlerin tipi ve konsantrasyonlarına bağlı olarak organogenesis veya embriyogenesis yönlendirebilir. Sürgünler elde edildikten sonra 2-5 cm boyutuna ulaşanlar köklendirme ortamlarına alınır. Köklenen sürgünler seraya şaşırılarak aklimatize edilir. Sonuçta elde edilen bitki somatik bir klondur.

1.7.7. Protoplastların transformasyonu ve somatik hibridizasyon;

Protoplastların transformasyonu ilk olarak Polietilen-glikol PEG ile yapılmış ve elektroporasyon ile devam etmiştir (Melchers ve ark., 1978). Protoplast teknolojisinde protoplastlar her biri genetik olarak farklı iki bitkiden veya diploid somatik hücrelerden izole edilir ve füzyon yapılmaktadır. Sonuçta paraseksüel hibrit protoplastlar oluşur (Chakraborty, 2016). Oluşan hibrit protoplastlar heteromorfik bir sitoplazma ve her iki ebeveynden gelen kaynaşmış iki çekirdek içerir. Bu protoplastlar yukarıda sıralanan işlem basamaklarını başarılı bir şekilde geçtiği takdirde bitki rejenerasyonu sağlanırsa oluşan bitkiye **somatik hibrit** veya **sibrit bitkiler** denir. Kısaca aynı bitkinin somatik hücrelerinden veya genetik olarak iki farklı bitkinin somatik hücrelerinden elde edilen protoplastlarının füzyonuna somatik hibridizasyon denilmektedir. Bitki ıslahında somatik melezleme ve protoplast kültürü genetik varyasyonun arttırılması açısından büyük

önem taşımaktadır. Protoplastların füzyonu yoluyla farklı bitkiler arasındaki somatik hibridizasyon, bitkilerde yeni çeşit veya türlerin elde edilmesi açısından oldukça ümitli bir deneysel yaklaşımdır. Bu sayede özellikle eşeysel melezlemelerde kendine uyumsuzluk gibi sorunların önüne geçilebilir. Bu metotla hastalık ve zararlılara dayanıklı genlerin aktarımı gerçekleşebilir. Xie ve ark., (2020) protoplast füzyonu kullanarak yüksek proteinli *Chlorella sorokiniana* elde etmişlerdir. Beard ve ark., (2021) *Cannabis sativa* protoplastlarına geçici gen transformasyonunu sağlayarak flow sitometri ile analiz etmiştir. Protoplast füzyonu yalnızca genetik materyalin değil aynı zamanda mitokondriyel DNA, kloroplast ve sitoplazma gibi çekirdek dışı materyallerin geçişine olanak sağladığı için bu yolla bitki rejenerasyonu bitki ıslahı açısından büyük öneme sahiptir. Örneğin bir ebeveynin yalnızca çekirdeğinin diğer ebeveynin yalnızca sitoplazmasını içeren yeni hibrit birey edilebilir. Bu durum en çok sitoplazmik erkek kısırlık taşıyan bitkilerin (CMS hatlar) ıslahında hibrit tohum üretimi açısından oldukça önem taşımaktadır.

1.8. Mutasyon İslahında Bitki Doku Kültürü Teknikleri

Mutasyon, genetik segregasyon ve rekombinasyondan bağımsız gerçekleşen, organizmanın genetik materyalinde ani meydana gelen kalıtsal değişikliklerdir. Mutasyon ıslahı popülasyondaki genetik varyasyonun çok kısa sürelerde artırılması açısından, özellikle kendine döllen ve vejetatif çoğalan bitkilerde oldukça elverişli bir ıslah tekniğidir. Mutajen uygulamaları sonucu, bitkilerin kalıtsal yapılarında meydana gelen sayısal veya yapısal birtakım değişiklikler,

bitkiye iyi veya kötü bazı özellikler kazandırabilir. Bitkilerde mutajenez oluşumu ve genetik transformasyonun indüklenmesi amacıyla son yıllarda doku kültürü teknikleri kullanılmaktadır (Nasri ve ark., 2018). Mutasyon ıslahının doku kültürü teknikleri ile kombine kullanımı hastalık faktörleri ile birlikte soğuk, kuraklık, tuzluluk gibi stres faktörlerine, herbisit ve pestisitlere dayanıklı, erkenci ve yüksek verimli çeşitlerin eldesine yönelik çalışmalar sürdürülebilir. Doku kültürü tekniklerini mutasyon ıslahına entegre etmek, klasik ıslaha kıyasla çok daha kısa bir sürede sonuca götürebilmektedir. İn vitro çalışmalarda fiziksel mutajenler (X ışını, gama ışını, UV) ve kimyasal mutajenler (ethyl metane suphonate-EMS, NEU, NMMG vs) kullanılmaktadır. Fiziksel mutajenlerin aksine kimyasal mutajenler, kullanımlarının kolay olması, herhangi bir özel ekipman gerektirmemesi ve çok yüksek mutasyon frekansı sağlayabilmeleri nedeniyle daha çok popülerlik kazanmıştır. Kimyasal mutajenler nokta mutasyonları, tek baz çifti değişiklikleri veya tek nükleotid polimorfizmlerine (SNP) neden olma eğilimindedir. Doku kültüründe hücreler eksplantların izolasyonu, kültürü ve rejenerasyon esnasında fiziko-kimyasal strese maruz kalıp hücreler, doğal koşullarda olduğundan farklı bir tür yeniden programlamaya maruz kalabilir (Jain, 2001). İn vitro indüklenen bu değişkenlik, in vitro kültürlerin EMS, sodyum azid (Hunold ve ark., 1992), gama ve X-ışınları gibi mutajenik madde uygulamalarıyla artırılabilir. Her tekniğin olduğu gibi in vitro mutasyon ıslahının da kendine has bazı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Son zamanlarda TILLING (targeting-induced local lesions in genomes) yaklaşımı Spesifik genlerdeki

mutasyonları belirlemek için güçlü bir yöntem olarak kabul edilmiştir (Hesami ve ark., 2021).

1.8.1. İn vitro mutasyonların avantajları

- Mutajen uygulaması in vitro kültürde gerçekleştirilebilir.
- Tek bir mutant hücreden bir bitki üretilebilir.
- Özellikle anter kültürü tekniği ıslah sürecini oldukça kısaltmaktadır.
- Tohum, organ veya kompleks bitki sistemlerine rahatlıkla uygulanabilir.

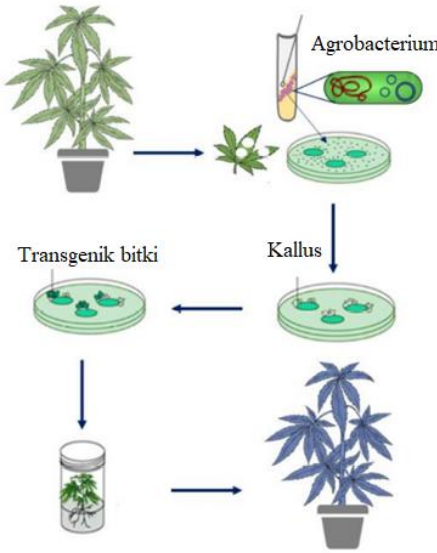
1.8.2. İn vitro mutasyonların dezavantajları

- Hücre kültürlerinde tek bir hücreden bitki rejenerasyonu gerçekleşmeyebilir.
- Kimera bitkiler oluşabilir.
- Agronomik farklılıklar hücresel seviyede gözlenmeyebilir.
- İn vitro seleksiyonda zorluklar olabilir.

Doku kültürü entegreli mutasyon ıslahında başlangıç materyali olarak; Organ (meristem, sürgün ucu, kök, anter vs.), embriyo, kllus, tek hücre veya protoplastlar kullanılabilir. Etkili mutajen dozu belirlendikten sonra başlangıç materyaline mutajen uygulaması yapılır ve eksplant doku kültürüne aktarılır. Akabinde alt kültürlerle alınarak mikroçoğaltımı sağlandıktan sonra gerekli testlemeler yapılır ve bitkiler aklimatize edilir. Gözlem ve seleksiyona sera veya tarla koşullarında devam edilir.

1.9. Gen Transformasyonu

Bitki genetik mühendisliği, genlerin fonksiyonunu ve genom yapısını incelemek için temel bir yaklaşım olarak kabul edilebilir. Genetik transformasyon, bir takım önemli özellikleri (herbisit ve pestisit direnci, pro-vitamin A üretimi, hastalık ve zararlılara dayanıklılık vb.) taşıyan yabancı genlerin donör bitkiye aktarımı olarak tanımlanabilir. Son zamanlarda ise daha popüler olan ve yabancı gen aktarımından ziyade organizmanın kendi genomu içerisinde düzenleme teknolojileri (CRISPR/Cas sistemi) popüler olmuştur ve buğday, pirinç gibi yüksek oranda üretilen bitkileri modifiye etmek için uygulanmıştır (Debernardi ve ark., 2020). Etkili ve güvenilir in vitro bitki doku kültürü teknikleri, gen transformasyonu, genom düzenleme, mikroçoğaltım ve gen kaynaklarının muhafazası için oldukça önemli bir araçtır.



Şekil 7: Agrobacterium aracılığı ile gen transferi (Hesami ve ark., 2021).

SONUÇ

Doku kültürü teknikleri ıslah için önemli bir araçtır. İn vitro teknikler ile ilgili araştırmalar devam ettikçe bitkilerin biyoteknolojik ıslahına yardımcı yeni kullanımlar ve yöntemlerde daha fazla geliştirilecektir. Örneğin protoplast çalışmaları gibi kendine has birtakım zorlukları olsa da protoplast kültürü ve somatik hibridizasyon, özellikle yüksek ekonomik değerlere sahip farklı bitki türlerinin ve çeşitlerinin geliştirilmesi için gelecek bitki biyoteknolojisinde ümit vadeci görünmektedir.

KAYNAKÇA

- Akgün, İ., Tosun, M., Sağsöz, S. (1997). Erzurum Koşullarında Bazı Tritikale Hat ve Çeşitlerinin Verim ve Verim Unsurlarının Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 28 (1) : 103–119.
- Anwar, N., Kikuchi, A., ve Watanabe, K. N. (2010). Assessment of somaclonal variation for salinity tolerance in sweet potato regenerated plants. *African Journal of Biotechnology*, 9(43), 7256-7265.
- Litz, R.E. et al. (1991) Mango somatic cell genetics. *Acta Horticulturae* 291, 133–140.
- Atichart, P. (2013). Polyploid Induction by Colchicine Treatments and Plant Regeneration of *Dendrobium chrysotoxum*. *Thai Journal of Agricultural Science*, 46 (1): 59-63.
- Bairu, M. W., Aremu, A. O., & Van Staden, J. (2011). Somaclonal variation in plants: causes and detection methods. *Plant Growth Regulation*, 63(2), 147-173.
- Bajaj, Y.P.S., Kumar, P., Labana, K.S. (1982). Interspecific Hybridization in the Genus *Arachis* Through Embryo Culture. *Euphytica* 31:365-370.
- Bakeslee, A.F., Avery, A.G. (1937). Methods of Inducing Doubling of Chromosomes in Plants. *J. Heredity*, 28: 393-411.
- Beard, K. M., Bargmann, B.O.R. (2021). Protoplast isolation, transient transformation, and flow-cytometric analysis of reporter-gene activation in *Cannabis sativa L.* *Frontiers in Genome Editing*, 3: 734951.
- Bhojwani, S. S., ve Razdan, M. K. (1996). Plant Tissue Culture: Theory and practice. A Revised Edition. In: Chapter 10; In vitro pollination and fertilization. Vol 5. Elsevier Science, Amsterdam, pp. 767:269-295.
- Bhojwani, S.S. ve Razdan, M.K. (1983). Plant tissue culture: Theory and practice. Elsevier, Amsterdam.
- Bhojwani, S.S., Dantu P.K. (2013). In Vitro Pollination and Fertilization. In: Plant Tissue Culture: An Introductory Text. Springer, Pages 155-171 India. https://doi.org/10.1007/978-81-322-1026-9_13

- Bridgen, M.P. (1994). A review of plant embryo culture. Hort.Science, 29(11): 1243-1246.
- Bulunuz Palaz, E. (2018). *In vitro* kültür koşullarında poliploid salep orkide bitkilerinin elde edilmesi. Doktora Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 155s.
- Cassells, A. C., Curry, R. F. (2001). Oxidative stress and physiological, epigenetic and genetic variability in plant tissue culture: implications for micropropagators and genetic engineers. Plant Cell. Tissue Organ Cult, (64), 145–157.
- Chakraborty, S. (2016). Protoplast Culture and Somatic Hybridization. Promising Frontier of Plant Biotechnology. (2), 1.
- Chen, W. H., Tang, C. Y., Kao, Y. L. (2009). Ploidy Doubling by *In Vitro* Culture of Excised Protocorms or Protocorm-Like-Bodies in *Phalaenopsis* Species. *Plant Cell Tissue Organ Culture*, 98: 229 – 238.
- Chevreau, E., Brisset, M. N., Paulin, J. P., & James, D. J. (1998). Fire blight resistance and genetic trueness-to-type of four somaclonal variants from the apple cultivar Greensleeves. Euphytica, 104(3), 199-205.
- Chomátová, S., Turková, V., & Klozová, E. (1990). Protein complex and esterase isoenzyme patterns of *Allium sativum* L. cultivars and clones-regenerants. *Biologia plantarum*, 32(5), 321-331.
- Datta, S.K., (2005). Androgenic haploids: Factors controlling development and its application in crop improvement. *Current Science* 89:1870-1878.
- Debernardi, J.M., Tricoli, D.M., Ercoli, M.F., Hayta, S., Ronald, P., Palatnik, J.F., Dubcovsky, J.A. GRF–GIF chimeric protein improves the regeneration efficiency of transgenic plants. (2020) *Nature Biotechnology*, (38), 1274–1279.
- Deryckere, D., Eeckhaut, T., Huylenbroeck, J.V., Bockstaele, E.V. (2012). Low melting point agarose beads as a standard method for plantlet regeneration from protoplasts within the *Cichorium* Genus. *Plant Cel. Rep*, (31),2261–2269.

- Dhawan, O., Lavania, U. (1996). Enhancing the Productivity of Secondary Metabolites Via Induced Polyploidy: a Review. *Euphytica*, 87: 81–89.
- Dietrich, K. (1924). Über Kultur von Embryonen ausserhalb des Samens. *Flora (Jena)* 117:379–417.
- Eeckhaut, T., Van Houtven, W., Bruznican, S., Leus, L., & Van Huylenbroeck, J. (2020). Somaclonal Variation in *Chrysanthemum* × *morifolium* Protoplast Regenerants. *Frontiers in plant science*, 11, 2104.
- Espino, F.J., Vazoquez, A.M. (1981). Chromosome Numbers of *Saintpaulia ionanta* Plantlets Regenerated from Leaves Cultured *In Vitro* with Caffeine and Colchicine. *Euphytica*, 30: 847–854.
- Fossi, M., Amundson, K., Kuppu, S., Britt, A., & Comai, L. (2019). Regeneration of *Solanum tuberosum* plants from protoplasts induces widespread genome instability. *Plant physiology*, 180(1), 78-86.
- Gamborg, O.L., Miller, R.A., Ojima, K. (1968). Nutrient requirements of suspension cultures of soybean root cells. *Expt. Cell Res.* 50:151–158.
- Genç, İ., Yağbasanlar, T. (1993). Bitki Islahı. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Adana. 150s.
- George, (1993). *Plant Propagation by Tissue Culture, Part 1: The Technology.* ISBN-10: 0-9509325-4-X ISBN-13: 978-0-9509325-4-5
- Grant, W. F., Owens, E.T. (2002). Lycopersicon Assays of Chemical/radiation Genotoxicity for the Study of Environmental Mutagens. *Mutation Research*, 511: 207–237.
- Griesbach, R.J. (1981). Colchicine-induced Polyploidy in *Phalaenopsis* Orchids. *Plant Cell Tissue Organ Culture*, Netherlands, 1: 103-107.
- Guha, S., Maheswari, S.C. (1964). In vitro production of embryos from anthers of *Datura*. *Nature* 204:497.
- Hannachi, S., Werbrouck, S., Bahrini, I., Abdelgadir, A., Siddiqui, H. A., & Van Labeke, M. C. (2021). Obtaining Salt Stress-Tolerant Eggplant Somaclonal Variants from In Vitro Selection. *Plants*, 10(11), 2539.
- Hannig, E. (1904). Zur Physiologie pflanzlicher Embryonen. I. Über die Kultur von Cruciferen-embryonen ausserhalb des Embryosacks. *Bot. Ztg.* 62:45–80

- Hansen, A. L., Gertz, A., Joersbo, M., Andersen, S.B. (2006). Short-Duration Colchicine Treatment for In Vitro Chromosome Doubling during Ovule Culture of *Beta vulgaris* L. *Plant Breeding*, 114 (6): 515–519.
- Harland, S.C. (1920). A note on a peculiar type of “rogue” in Sea Island cotton. *Agr. News, Barbados*, 19:29.
- Harland, S.C. (1936). Haploids in polyembryonic seeds of Sea Island cotton. *J. Hered.* 27: 229-231.
- Haslam, T. M., ve Yeung, E. C. (2011). “Zygotic embryo culture: an overview,” in *Plant Embryo Culture: Methods and Protocols*, eds T. A. Thorpe and E. C. Yeung (New York, NY: Springer), 3–15. doi: 10.1007/978-1-61737-988-8_1
- Hatipoğlu, R. (2008). Bitki Biyoteknolojisi. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 190, Ders Kitapları Yayın No: A-58, Ç.Ü. Yayınları No: 47, Adana.
- Hermesen, J.G.Th., De Boer, A.J.E. (1971). The Effect of Colchicine Treatment on *Solanum acaule* and *S. bulbocastanum*; A Complete Analysis of Ploidy Chimeras in *S. bulbocastanum*. *Euphytica*, 20 (2): 171 – 180.
- Hesami M., Baiton A., Alizadeh M., Pepe m., Torkamaneh D., Jones A.M.P. (2021). Advances and perspectives in tissue culture and genetic engineering of cannabis. *Int. J. Mol. Sci.* (22), 5671.
- Hesami, M., Baiton, A., Alizadeh, M., Pepe, M., Torkamaneh, D., & Jones, A.M.P. (2021). Esrarın Doku Kültürü ve Genetik Mühendisliğindeki Gelişmeler ve Perspektifler. *Uluslararası Moleküler Bilimler Dergisi*, 22 (11), 5671.
- Hussey, G. (1976). Plantlet Regeneration from Callus and Parent Tissue in *Ornithogalum thyrsoides*. *J. Exp. Bot.* 27: 375-382.
- Hwang, S. C., & Ko, W. H. (2004). Cavendish banana cultivars resistant to Fusarium wilt acquired through somaclonal variation in Taiwan. *Plant disease*, 88(6), 580-588.
- İlarslan, İ. H. (1990). Diploid ve Tetraploid Çavdar (*Secale cereale* L.) Bitkisinin Morfolojik, Sitolojik ve Palinolojik Yapılarının Karşılaştırılması. Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara. 92s.
- Jacob, Y., Barrade, R., Marquier, M.J., Botton, E. (1997). Breeding of *Anemone coronaria* Tetraploid Hybrids. *Acta Hort.* 430 (2): 503-508.

- Jeong, Y. Y., LEE, H.Y., KIM, S. W., NOH, Y.S., SEO, P. J. (2021). Optimization of Protoplast regeneration in the model plant *Arabidopsis thaliana*. *Plant Methods*, (17), 21.
- Jones, A. M. P., Shukla, M. R., Biswas, G. C. G., AND Saxena, P. K. (2015). Protoplast-to-plant Regeneration of American Elm (*Ulmus Americana*), *Protoplasma* (252), 925–931.
- Kanta, K., Rangaswamy, N.S., Maheshwari, P. (1962). Test-tube fertilization in a flowering plant. *Nature* 194: 1214–1217.
- Kimber, G., Riley, R., (1963). Haploid angiosperms. *Bot. Rev.* 29:480-531.
- Korkmaz, Y., & Çölgeçen, H. (2013). Bitki doku kültürü çalışmalarında somaklonal varyasyon. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 6(2), 74-78.
- Košmrlj, K., Murovec, J., Bohanec, B. (2013). Haploid induction in hull-less seed pumpkin through parthenogenesis induced by X-ray irradiated pollen. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 138(4): 310-316.
- Köksal, N. (1999). Haploid Kavun Bitkilerinde *In Vivo* ve *In Vitro* Yöntemlerle Dihaploidizasyon. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Adana. 116s.
- Kumari, R., Kumar, P., Sing Jakhar, D., Kumar, A. (2019). Embriyo rescue: A Tool for Crop Improvement, *Pop. Kheti*, 7(3):57-58.
- Kurtar, E.S., Sarı, N., Abak, K. (2002). Obtention of haploid embryos and plants through irradiated pollen technique in squash (*Cucurbita pepo* L.). *Euphytica*, 127, 335–344
- Laibach, F. (1925). Das Taubwerden von Bastardsamen und die künstliche Aufzucht früh absterbender Bastardembryonen. *Z. Bot.* 17:417–459.
- Lammerts Van Bueren, E.T.,Hulscher, M., Haring, M., Jongerden, J., Mansvelt, J.D., van., Nijs, A.P.M., Ruivenkamp, G.T.P. (1999). Sustainable organic plant breeding. Final report: a vision, choices, consequences and steps. Driebergen: Louis Bolk Instituut- 60
- Lassoued, R., Phillips, P. W., Macall, D. M., Hesseln, H., & Smyth, S. J. (2021). Expert opinions on the regulation of plant genome editing. *Plant Biotechnology Journal*, (19), 1104-1109.

- Lotfi, M., Alan, A.R., Henning, M.J., Jahn, M.M., Earle, E.D. (2003). Production of haploid and doubled haploid plants of melon (*Cucumis melo* L.) for use in breeding for multiple virus resistance. *Plant Cell Rep.* 21: 1121- 1128.
- Luckett, D. (1989). Colchicine Mutagenesis is Associated with Substantial Heritable Variation in Cotton. *Euphytica*, 42: 177-182.
- Maluszynski, M., Kasha, K.J., Forster B.P., Szarejko, I. (2003). Doubled haploid production in crop plants: a manual. Kluwer Academic, London.
- Marum., L, Rocheta, M., Maroco, J., Oliveira, M., Miguel, C. (2009). Analysis of genetic stability at SSR loci during somatic embryogenesis in maritime pine (*Pinus pinaster*). *Plant Cell Rep.* (28), 673–682.
- McCoy, T. J., Phillips, R. L., & Rines, H. W. (1982). Cytogenetic analysis of plants regenerated from oat (*Avena sativa*) tissue cultures; high frequency of partial chromosome loss. *Canadian Journal of Genetics and Cytology*, 24(1), 37-50.
- Melchers G., Sacristan M.D., Holder A.A. (1978). Somatic hybrid plants of potato and tomato regenerated from fused protoplasts, *Carlsberg Res. Commun.* (43), 203-218.
- Minano, H.S., Gonza´lez-Benito, M.E., Marti´n, C. (2009). Molecular characterization and analysis of somaclonal variation in *Chrysanthemum cultivars* using RAPD markers. *Sci Hortic.* (122), 238–243.
- Molin, W.T., Mayers, S.P., Baer, G.R., Schrader, L.E. (1982). Ploidy Effects in Isogenic Populations of Alfalfa. II. Photosynthesis Chloroplast Number, Ribulose-1,5-Biphosphate Carboxylase, Chlorophyll, and DNA in Protoplasts. *Plant Physiol.* 70: 1710- 1714.
- Monnier, M. (1978). Culture of zygotic embryos, p. 277–286. In: T.A. Thorpe (ed.). *Frontiers of plant tissue culture 1978*. Univ. of Calgary Press, Canada.
- Mouss, H.R., Salem, A.A.E. (2009). Induction of parthenocarpy in watermelon (*Citrullus lanatus*) cultivars by gamma irradiation. *Acta Agronomica Hungarica*, 57: 137-148.
- Murashige, T. ve Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant.* 15:473–497.

- Nasertorabi, M., Madadkhah, E., Moghbeli, E., Grouh, M.S.H., Soleimani, A. (2012). Production of haploid lines from parthenogenetic Iranian melon plants obtained of irradiated pollen (*Cucumis melo* L). *Int. Res. J. Appl. Bas. Sci.* 3(8): 1585-1589
- Nasri, F., Zakizadeh, H., Vafaee, Y., Mozafari, A. (2018). In vitro propagation of *Chrysanthemum*: an overview on its utility in mutagenesis and genetic transformation techniques. *Agric. Res. Technol.* (15), 1-4.
- Osakabe, Y., Liang, Z., Ren, C., Nishitani, C., Osakabe, K., Wada, M., (2018). CRISPR-Cas9-mediated genome editing in apple and grapevine. *Nat. Protoc.* (13), 2844–2863.
- Peixe, A., Campus, M.D., Cavaleiro, C., Barroso, J., Pias, M.S. (2000). Gamma-irradiated pollen induces the formation of 2n-endosperm and abnormal embryo development in European plum (*Prunus domestica* L, cv “Rainha Claudia Verde”). *Scientia Hort.* 86(4):267-278.
- Pienaar, R. De V. (1963). Sitogenetische Studies in Die Genus *Ornithogalum* L. I. Inleidende oorsig. *J. S. Afr. Bot.* 29: 111-130.
- Polanco, C., Ruiz, M.L. (2002) Aflp analysis of somaclonal variation in *Arabidopsis thaliana* regenerated plants. *Plant Sci.* (162), 817–824.
- Pontaroli, A.C., Camadro, E.L. (2005). Somaclonal variation in *Asparagus officinalis* plants regenerated by organogenesis from long-term callus cultures. *Genet Mol Biol.* (28), 423–430.
- Prange, A.N.S., Bartsch, M., Serek, M., Winkelmann, T. (2010). Regeneration of different cyclamen species via somatic embryogenesis from callus, suspension cultures and Protoplasts. *Scientia Horticulturae.* (125), 442–450.
- Rangaswamy, N.S. (1977). Application of in vitro pollination and in vitro fertilization. In: Reinert J, Bajaj YPS [eds.], *Applied and fundamental aspects of plant cell, tissue and organ culture*, 412–425. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Ranney, T. (2006). Polyploidy: From Evolution to New Plant Development. *Combined Proceedings of the International. Plant Propagator's Society*, 56: 137–142.

- Rival, A., Ilbert, P., Labeyrie, A., Torres, E., Doulebeau, S., Personne, A., et al. (2013). Variations in genomic DNA methylation during the long-term in vitro proliferation of oil palm embryogenic suspension cultures. *Plant Cell Rep*, (32), 359–368.
- Roos, T.J., De V. Pienaar, R. (1966). Cytogenetic Studies In The Genus *Ornithogalum*. III. Meiotic analysis of Some Interspecific Hybrids of *O. conicum Jacq.* and *O. lacteum Jacq.* *J. S. Afr. Bot.* 32: 261-271.
- Hatipoğlu, R. (2008). Bitki biyoteknolojisi. Ç.Ü. Ziraat fakültesi Genel yayın no: 190.
- Ryu, J., Kim, W.J., Im, J., Kang, K.W., Kim, S.H., Jo, Y.D., Kang, S.Y., Lee, J.H., Ha, B.K. (2019). Single nucleotide polymorphism (SNP) discovery through genotyping-by-sequencing (GBS) and genetic characterization of *Dendrobium* mutants and cultivars. *Scientia horticulturae*, (244), 225-233.
- Sakamoto, Y., Kawamura, A., Suzuki, T., Segami, S., Maeshima, M., Polyn, S., ... & Sugimoto, K. (2021). Transcriptional activation of auxin biosynthesis drives developmental reprogramming of differentiated cells. *bioRxiv*.
- Sangwan, R.S. ve Sangwan-Norreel, B.S. (1990). Anther and pollen culture. In: S.S. Bhojwani (Ed.), *Developments in Crop Science 19. Plant Tissue Culture: Applications and Limitations*, pp. 220–241. Elsevier, Amsterdam.
- Sarı, N. (1994). Effect of genotype and season on the obtention of haploid plants by irradiated pollen in watermelon and alternatives to the irradiation. Institute of Natural and Applied Sciences University of Çukurova, PhD Thesis, p. 244.
- Sloan, M.E., Camper, N.D. (1981). Effects of Colchicine on Carrot Callus Growth and Energy Status. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 1 (1): 69-75.
- Sosnowska, K., Cegielska-Taras, T. (2014). Application of *in vitro* pollination of opened ovaries to obtain *Brassica oleracea* L. × *B. rapa* L. hybrids. *In Vitro Cell. Dev. Biol.-Plant* 50, 257–262.
- Sundov, Z., Z, Nincevic., M, Definis-Gojanovic., M, Glavina-Durdovic., I, Jukica., N, Hulinad., A, Tonkica. (2005). Fatal Colchicine Poisoning by Accidental Ingestion of Meadow Saffron-Case Report. *Forensic Science International*, 149: 253-256.

- Takamura, T., Miyajima, I. (1996). Colchicine Induced Tetraploids In Yellow-Flower Cyclamens and Their Characteristics. *Sci. Hortic*, 65: 305-312.
- Tate, J.A., Soltis, D.E., Soltis, P.S. (2005). Polyploidy In Plants. (Editörler: Gregory TR) The Evolution of the Genome. Elsevier, San Diego, s.371–426.
- Tepe, Ş., Ellialtıoğlu Ş., Yenice, N., Tırdamaz, R. (2002). *İn Vitro* Kolhisin Uygulaması ile Poliploid Nane (*Mentha longifolia L.*) Bitkilerinin Elde Edilmesi. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 15 (2): 63-69.
- Thao, M. L., Baumann, L., Hess, J. M., Falk, B. W., Ng, J. C., Gullan, P. J., Baumann, P. (2003). Phylogenetic Evidence From Two New Insect-Associated Chlamydia of The Family *Simkaniaceae*. *Curr. Microbiol.* 47: 46–50.
- Van Den Bulk, R.W., Van Tuyl J.M. (1997). *In vitro* induction of haploid plants from the gametophytes of lily and tulip. In: Jain S.M., Sopory S.K., Veilleux R.E. (eds) *In Vitro Haploid Production in Higher Plants*. Current Plant Science and Biotechnology in Agriculture, vol 29. Springer, Dordrecht.
- Van Overbeek, J., Conklin, M.E., ve Blakeslee, A.F. (1941). Factors in coconutmilk essential for growth and development of very young *Datura* embryos. *Science* 94:350–351.
- Van Tuyl, J.M., Meijer, B., Van Din, M.P. (1992). The Use of Oryzalin as an Alternative For Colchicine in *In Vitro* Chromosome Doubling of *Lilium* and *Nerine*. *Acta Horticulturae*, 325: 625–630.
- Veen, H. (1963). The effect of various growth-regulators on embryos of *Capsella bursapastoris* growing in vitro. *Acta Bot. Neerl.* 12:129–171.
- Vervaeke, I., Delen, R., Wouters, J., Deroose, R., Deproft, M.P. (2004). Semi *in vivo* pollen tube growth of *Aechmea fasciata*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 76: 67–73.
- Wang, C., Lei, J. (2012). *In Vitro* Induction of Tetraploids From Immature Embryos Through Colchicine Treatments in *Clivia miniata* Regel. College of Horticulture, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, People's Republic of China. ISSN: 1991-637X, 7 (25): 3712-3718.

- Wang, M., Van Bergen, S., Van Duijn, B. (2000). Insights into a key developmental switch and its importance for efficient plant breeding. *Plant Physiol* 124:523-530.
- Wedzony, M., Forster, B.P., Zur, I., Golemic, E., Szechyska-Hebda, M., Dubas, E., Gotebiowska, G. (2009). Progress in doubled haploid technology in higher plants. In: *Advances in Haploid Production in Higher Plants* (Touraev, A., Forster, B.P. and Jain, S.M., eds), Heidelberg, Berlin: Springer-Verlag, pp. 1-34.
- Wen, F., SU, W.P., Zheng, H., YU, B.C., MA, Z.F., Zhang, P., Guo, W.W. (2020). Plant regeneration via protoplast electrofusion in cassava. *J. Integr. Agric.* (19), 632–642.
- Xie, F., Zhang, F. Zhou, K., Zhao, Q., Sun, H., Wang, S., Zhao, Y., FU, J. (2020). Breeding of high protein *Chlorella sorokiniana* using protoplast fusion. *Bioresource Technology*, (313), 123624.
- Yang, H.Y., Zhou, C. (1982). *In vitro* induction of haploid plants from unpollinated ovaries and ovules. *Theor. Appl. Genet.* 63: 97–104.
- Zenkter, M. (1999). *In vitro* pollination of excised ovaries. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica* 41: 31–38.
- Zhang, Y., Malzahn, A.A., Sretenovic, S., Q.I. Y. (2019). The emerging and uncultivated potential of CRISPR technology in plant science. *Nat. Plants*, (5)778–794.
- Zhou, H. W., Zeng, W.D., Yan, H.B. (2017). *In Vitro* Induction of Tetraploids in Cassava variety ‘Xinxuan 048’ Using Colchicine. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 128 (3): 723–729

BÖLÜM 3

SU KÜLTÜRÜ UYGULAMALARI

Araş. Gör. Hakkı Ekrem SOYDEMİR^{1*}

Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahim YILMAZ²

Prof. Dr. Vahdettin ÇİFTÇİ³

^{1*} Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tohum Bilimi ve Teknolojisi Bölümü, Bolu, Türkiye. *ekremsoydemir@ibu.edu.tr

² Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, Bolu, Türkiye. abdurrahimyilmaz@ibu.edu.tr

³ Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, Bolu, Türkiye. vahdettinciftci@ibu.edu.tr

GİRİŞ

Küresel çapta yaşanan iklim değişiklikleri, bitkilerin verim ve kalite değerlerini azaltmakta ve gıda güvenliği sağlanamamaktadır (Bhargaw ve Chauhan, 2020; Yılmaz ve Çiftçi, 2021). Artan dünya nüfusu ve iklim değişiklikleri tarıma daha profesyonel yaklaşmayı zorunlu kılmaktadır (Yılmaz ve Soysal, 2021). Tarıma dayalı ekonomiye sahip olan ülkelerde gıda taleplerinin karşılanması için birim alandan alınan ürün miktarı oldukça önemlidir (Soysal ve Yılmaz, 2021). Dünyada tarım arazileri sınırlıdır ve bu araziler mahsul üretimi aleyhine olan büyük kirlilik, tuzlanma ve kuraklık sorunlarıyla karşı karşıyadır (Bhargaw ve Chauhan, 2020). Tarımsal üretim ve yönetim paradigmaları, ekonomik olarak sürdürülebilir bir tarım modeli sağlanacaksa değişmeli ve modern tarım uygulamaları hayata geçirilmelidir (Yılmaz ve ark., 2021).

Günümüzde toprak kaynaklı hastalıklar, olumsuz toprak bileşimi, toprak kirliliği ve yetersiz su drenajı gibi toprağın bazı sınırlamaları bulunmaktadır (Bhargaw ve Chauhan, 2020). Topraksız tarım sistemleri, su kıtlığı ve tuzlanma gibi toprak ve su sorunlarını beraberinde getiren geleneksel tarıma önemli bir alternatif sunmaktadır (Atzori ve ark., 2019). Topraksız tarım sistemleri, "kökler tarafından emilen inorganik besin maddelerinin sulama suyu yoluyla sağlandığı, köklenme ortamı olarak toprak kullanılmadan bitki yetiştirme herhangi bir yöntemi" olarak tanımlanmaktadır (Resh, 2012; EI-Kazzaz ve EI-Kazzaz, 2017; Atzori ve ark 2019). Verimli topraklara ihtiyaç duyulmayan bu modern tarım sistemlerinde geleneksel tarım

sistemlerine kıyasla daha az su ve alan gerekmektedir (Marginson, 2010). Topraksız tarım sistemleri, hidroponik, katı ortam kültürü ve aeroponik olmak üzere 3'e ayrılmaktadır (Atzori ve ark., 2019). Hidroponik sistemler topraksız tarım sistemleri içerisinde en çok kullanılanlardır.

1. BESİN SOLÜSYONLARI VE MUTLAK GEREKLİ BESİN ELEMENTLERİ

Hava (oksijen) ve su ile birlikte bitki büyümesi ve gelişmesi için gerekli besinlerini içeren besin çözeltileri için mutlak gerekli 17 adet besin elementi bulunmaktadır. Bunlar; oksijen, hidrojen, karbon, fosfor, azot, kalsiyum, potasyum, magnezyum, demir, çinko, bakır, kükürt, molibden, manganez, klor, bor ve nikelidir (Salisbury ve Ross, 1992; Arumugam ve ark., 2021). Besin çözeltisindeki besin oranlarına ilişkin olarak farklı bitki türlerinin farklı tercihleri bulunmaktadır. Her bitki türü için en uygun besin oranının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Besin çözeltilerindeki besin oranlarının etkileri ile ilgili deneylerin çoğu, metalik makro besinler (K:Ca:Mg veya K:Ca), besin anyon oranları, N:K (veya K:N) oranı ve NH_4^+ 'ün toplam nitrojene oranına odaklanmıştır (Savvas ve ark., 2008).

1938'de California Üniversitesi'nde bitki besleme uzmanı olan çalışan Dennis R. Hoagland ve Daniel I. Arnon, ticari olarak başarıyla kullanılan "Hoagland Solution" adlı bir besin çözeltisi geliştirmiştir. (Arumugam ve ark., 2021) Hoagland besin çözeltisi günümüzde en çok kullanılan besin çözeltileri arasında yer almaktadır. Karbon ve oksijen

gibi elementler atmosferden temin edilmektedir (Trejo-Téllez ve Gómez-Merino, 2012). Diğer mutlak gerekli besin elementlerinin bulunduğu, ticari ve araştırma amaçlı olarak kullanılan bazı besin çözeltilerinin besin elementi içeriklerine ait tablo Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Su kültüründe kullanılan bazı besin çözeltileri ve içerikleri

Besin elementi (mg/l)	Hoagland & Arnon (1950)	Hewitt (1966)	Cooper (1975)	Steiner (1984)	Imai (1987)
N	210	168	236	168	140
P	31	41	60	31	35.05
K	234	156	300	273	360.22
Mg	34	36	50	48	48.6
Ca	160	160	185	180	160.16
Fe	2.5	2.8	12	4	3
S	64	48	68	336	-
Cu	0.02	0.064	0.1	0.02	0.02
Zn	0.05	0.065	0.1	0.11	0.05
Mn	0.5	0.54	2	0.62	0.5
B	0.5	0.54	0.3	0.44	0.5
Mo	0.01	0.04	0.2	-	0.01

Besin çözeltilisinin emilimi hava, sıcaklık ve bağıl nem gibi iklim koşullarından etkilemektedir. Hava ve substrat sıcaklığı arasındaki küçük fark, bitkilerin besinlerden daha iyi faydalanmasını ve büyümesini sağlamaktadır (Manzocco ve ark, 2011). Topraksız tarımda yetiştirilen çoğu bitki türünün kök bölgesindeki optimal pH, 5,5 ile 6,5 arasında değişim göstermektedir. 5,0–5,5 ve 6,5–7,0 arasındaki

değerler de çoğu üründe sorun oluşturmamaktadır (Adams, 2002; Putra ve Yuliando 2015). Besin türleri, besin bileşimi ve EC (Electronic Conductivity) gibi besin çözeltisi parametreleri bitkinin verim ve kalitesini artırmak için en temel faktörlerdendir. EC'nin topraksız kültürde kullanılan besin çözeltilerinin en önemli özelliklerinden biri olarak kabul edildiği belirtilmiştir. Bir besin çözeltisinin EC'si çok düşükse, ürüne bazı besin maddelerinin sağlanması yetersiz kalabilmektedir. Benzer şekilde, EC çok yüksek olduğunda, bitkiler tuzluluğa maruz kalmaktadır. Bununla birlikte, bitkilerin besin çözeltisinin EC'sine verim tepkisi, farklı türler arasında büyük ölçüde değişim göstermektedir. Bu nedenle, kültüre alınan her bitki türü için “çok düşük” ve “çok yüksek” terimlerinin deneysel sonuçlara dayalı ve nicel olarak tanımlanması gerekmektedir. (Putra ve Yuliando 2015).

2. HİDROPONİK SİSTEM

Hidroponik sistem modern bir uygulama olarak kabul edilmektedir. Ancak benzer tekniklerle bitki yetiştirme muhtemelen ilk olarak Mısırlılar tarafından MÖ birkaç yüz yıl boyunca denenmiştir. (Hussain ve ark, 2014; Raviv ve Lieth, 2008). Hidroponik terimi, 1930'ların başlarında Prof. William Gericke tarafından icat edilen, su anlamına gelen Yunanca “Hydro” kelimesinden ve emek, yani su işi anlamına gelen ponos kelimesinden türetilmiştir (Arumugam ve ark., 2021).

Hidroponik, bitkilerin toprak kullanmadan suda yetiştirildiği basit bir sistemdir. Bir hidroponik, suyun yaklaşık yüzde 5'ini ve geleneksel tarım ile eşdeğer miktarda ürün üretmek için gereken arazinin cüzi bir

kısmını kullanmaktadır (AlShrouf, 2017). Hidroponik bir sistem, bitkilerin büyümeleri için toprağa değil kök bölgesine yakın vitamin, mineral, ışık, su, karbondioksit ve oksijene ihtiyaç duymaları prensibiyle çalışmaktadır. Bu nedenle hidroponik sistem, besin açısından zengin çözeltilerin bitki büyümesi için gerekli olan makro ve mikro besinlerle beslendiği büyüme ortamlarına ihtiyaç duymaktadır (El-Kazzaz ve El-Kazzaz, 2017).

Hidroponik sistemlerin toprak kaynaklı patojenlerin olmaması, toprak dezenfeksiyonuna güvenli bir alternatif olması, besin ve suyun bitkilere daha homojen miktarlarda uygulanabilmesi gibi avantajları bulunmaktadır (Putra ve Yulianto 2015) Buna ek olarak, geleneksel tarıma kıyasla önemli miktarda su tasarrufu sağlanmakta ve su kullanım verimliliği önemli ölçüde artmaktadır (Raviv ve Lieth, 2008; Atzori ve ark., 2019). Hidroponik sistemlerin geleneksel yetiştirme sistemine göre hızlı büyüme, yüksek üretkenlik, kolay kullanım, verimli su kullanımı (Barbosa ve ark., 2015) ve daha az gübre kullanımı (Rana ve ark., 2011; Cuba ve ark., 2015) gibi avantajları bulunmaktadır.

Tüm bu avantajlarının yanı sıra hidroponik sistemlerin, yüksek kurulum maliyetleri ve teknik beceri gereksinimleri gibi yayılmasını sınırlayan dezavantajları da bulunmaktadır (Savvas ve ark., 2013).

3. HİDROPONİK SİSTEM TİPLERİ

Hidroponik sistemlerin basit kurulumlardan son derece karmaşık olanlara kadar birçok değişik formatı bulunmaktadır (AlShrouf, 2017).

Hidroponik, besin çözültisi tükenene kadar aynı besin çözültisinin geri toplanarak yeniden kullanılıp kullanılmamasına bağlı olarak açık veya kapalı sistemler olarak ayrıca iki kategoriye ayrılmaktadır. (Hussain ve ark., 2014; Atzori ve ark., 2019).

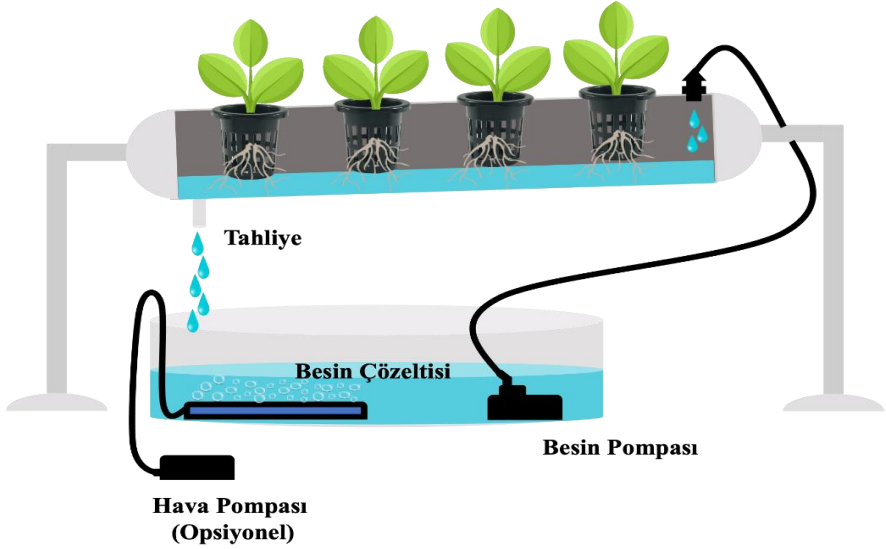
Açık bir hidroponik sistemde, kök sistemi ile temas halinde olan besin çözültisi sadece bir kez kullanılmaktadır. Bu durum, besin solüsyonlarının sirküle edilmediği veya geri dönüştürülmediği anlamına gelmektedir. Açık hidroponik sistemin en büyük avantajı, besin çözültisindeki düzenli değişiklikler nedeniyle bitki sisteminde enfeksiyon riski olmamasıdır. (Jones, 2005).

Kapalı hidroponik bir sistemde, bitki büyümesi için kullanılan ve bitki köklerine uygulanan besin solüsyonunun tamamı toplanmakta ve periyodik olarak iade edilmektedir. Bu durum, besin çözültisinin düzenli olarak geri dönüştürüleceği anlamına gelmektedir. Bu sistemde bitkiler sıvı ortamda veya talaş, pirinç kabuğu, odun kömürü, kum, çakıl, pomza vb. gibi katı substratlarda yetiştirilmektedir. Su ve besinler düzenli olarak geri dönüşümlü izlenmektedir. Bu sistemin en büyük dezavantajı elektriğe bağlı olunmasıdır (Lee ve Lee, 2015).

3.1. Besin film tekniği (NFT)

Besin Film Tekniği, bir PVC boru düzenlemesi kanalı yoluyla bitki köklerine yüksek oranda oksijenli bir besin çözültisi sağlamak için besin çözültisinin geri dönüştürüldüğü ve yeniden sirküle edildiği kapalı bir hidroponik sistemdir. Bu sistem Allan Cooper tarafından

1960'larda geliştirilmiştir (Cooper, 1988). Bu sistemde bitki, kökleri aracılığıyla besin çözeltisinin ince filminden gerekli besin ve oksijeni almaktadır (Morgan, 2009). Besin çözeltisi genellikle bir besin tankından bitki köklerinin bulunduğu eğimli boruya pompalanır ve akış sonrasında besin tankına tekrar toplanır. Bu döngü düzenli aralıklarla tekrarlanır. Son zamanlarda, NFT sistemi, çeşitli destekleyici ortamlar ve büyüyen sistemler ile modifiye edilmiştir (Arumugam ve ark., 2021) (Şekil 1).



Şekil 1. Besin film tekniği sistemi

NFT’de sürekli olarak içinden akan ince bir suyun olduğu uzun ve küçük genişlikte plastik tüpler kullanılmaktadır. NFT sisteminin açık bir avantajı, çerçeveyi dikkatlice ana hatlarıyla çizip dikey olarak bir araya getirerek, alandan tasarruf sağlamayabilmesidir (Lee ve Lee, 2015). NFT’de kültür kabı içindeki dalgıç motoru sayesinde sürekli

olarak besin verilmesi sağlanmaktadır (Şekil 1). Yetiştirme ortamı olarak sadece hava kullanılır ve bitkiler, kökleri besin ortamının içinde asılı kalacak şekilde kapların içinde kültürlenir. Çözelti sürekli bir akışta kaldığı için besin çözeltisinin tuzluluğunda toprağa göre değişiklikler olabilir. Bu sistemde bitkiler toprak bazlı ekime göre çok daha yüksek tuzlulukta yetiştirilebilmektedir (Pradhan ve Deo, 2019).

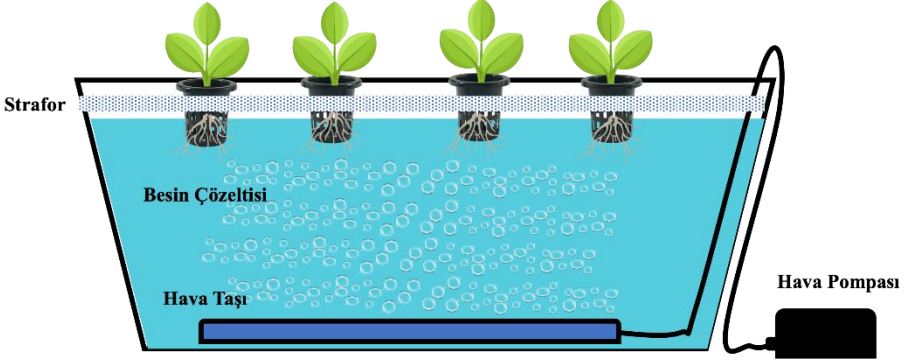
NFT tekniği sıklıkla kullanılmakta ve klasik hidroponik yetiştirme sistemi olarak kabul edilmektedir. Bu tip sistemde besin solüsyonu 1-2 cm su tabakası olan oluklarda akararak dolaşmaktadır (Van Os, 2015) (Şekil 1). Besin çözeltisinin devridaimi ve substratın olmaması, NFT sisteminin ana avantajlarından biridir. Ek bir avantaj olarak bu sistem, işçilik maliyetlerinden (ekim ve hasat) tasarruf etmek ve üretim döngüsü sırasında optimum bitki yoğunluğunu yönetmek için gereken büyük bir otomasyon potansiyeline sahiptir. Diğer taraftan, substratın olamaması ve düşük su seviyeleri, NFT'yi tıkanma veya güç kaynağı eksikliği nedeniyle pompa arızalarına karşı savunmasız hale getirmektedir. Besin çözeltisindeki sıcaklık dalgalanmaları, bitki stresine ve ardından hastalıklara neden olabilir. NFT sistemlerinde ortam hava kabarcıklarını suya sürükleyerek sisteme oksijen sağlayan bir Venturi cihazı kullanılabilir. Sistemin potansiyel sınırlamaları; potansiyel pompa arızaları (köklerde su kaybı nedeniyle bitkileri hızla tehlikeye sokar), besin çözeltisinin sürekli devridaimi nedeniyle yeterli çözülmüş oksijen eksikliği, eğimli düzlemlerin neden olduğu sudaki sıcaklık, oksijen ve besin maddelerinin eşit olmayan dağılımları ve alg büyümesi nedeniyle tüp tıkanmasıdır (Ghorbel ve ark., 2021)

NFT sisteminde besinlerdeki iyonların eksikliğini kontrol etmek için besin çözeltisinin sürekli izlenmesi gerekir. Eksilen bileşenler besin çözeltisini optimize etmek için ilave edilmelidir. NFT ve aeroponik, patates endüstrisi tohum üretiminde ve NASA'nın kontrollü ekolojik yaşam destek sistemleri (CELSS) programında umut verici uygulamalara sahiptir (Ragaveena ve ark., 2021). Bu sistemin en büyük dezavantajı, besin çözeltisindeki tampon eksikliği ve bitki hastalıklarının ortaya çıkmasıdır. Bu sistemde oluğun eğimi %0,3–2 olacak şekilde yapılmaktadır (Van Os ve ark., 2019), böylece besin alınımı optimize olmaktadır. Bitkilerin büyümesini sağlamak için besin çözeltisinin akış hızı uygun şekilde optimize edilmelidir. Kullanılan zamanlayıcılar, bitkilere besin tedarik döngüsünün korunmasına yardımcı olmaktadır (Ragaveena ve ark., 2021). PVC borunun sınırlı alanı ve besinlerin kökler üzerinden sürekli olarak akması gerekliliği nedeniyle, besleyici film tekniği özellikle marul, çilek ve otlar gibi küçük kökleri olan bitkiler için çok uygundur (El-Kazzaz ve El-Kazzaz, 2017).

3.2. Derin su kültürü (DWC) veya Derin akış tekniği (DFT)

Derin Su Kültürü, bitkilerin yaklaşık 10-20 cm'lik bir besin çözeltisi içeren bir kaptaki sallandığı, paneller, tahtalar gibi yüzer veya asılı bir destek üzerinde yetiştirildiği Derin Akış Tekniği olarak da bilinir (Van Os ve ark., 2002). Bu sistem, hidroponik sistemin birçok yeni gelişmiş versiyonu için bir öncü nitelikler taşımaktadır. Bir pompa ve havalandırma düzeneğinden oluşan bu sistemde (Hoagland ve Arnon, 1950) bitkilerin kökleri, uygun havalandırma ile sürekli olarak besin

çözeltisine daldırılmaktadır (Şekil 2). Büyümei optimize etmek için oksijen konsantrasyonu, iletkenlik (EC) ve pH kontrol edilmelidir (Jones, 2005; Arumugam ve ark., 2021).



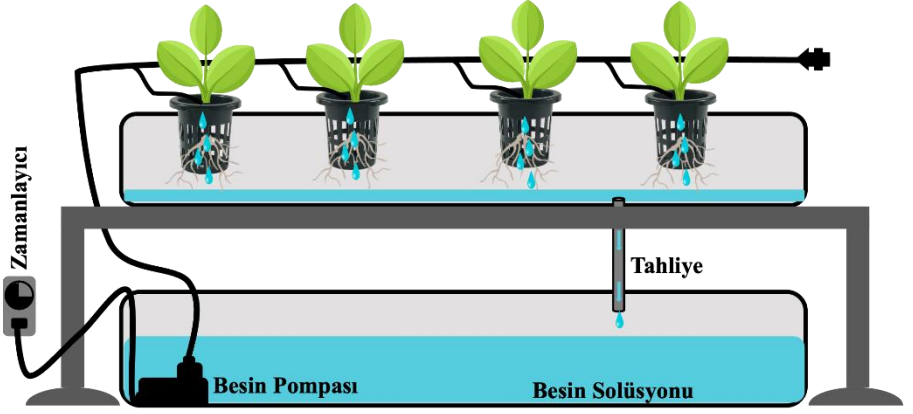
Şekil 2. Derin su kültürü sistemi

DWC aynı zamanda yüzer sal sistemi olarak da bilinmektedir. Hem küçük hem de geniş ölçekli üretim sistemleri için idealdir (Bandi ve ark., 2016). Bu teknik, temel besinleri içeren suyu sürekli olarak bitkinin köklerine sağlamaktadır ve bitki köklerinin her zaman yeterli oksijenle dolu suda bulunmasını garanti etmektedir. DWC'de su seviyesinin izlenmesi ve bir rezervuardaki giriş ve çıkış akışının kontrol edilmesi önemlidir. Sensörler ve aktüatörler ile otomasyon, verimli bitki büyümesi için bu periyodik izlemeye yardımcı olmaktadır (Saaid ve ark., 2013). DWC'deki en büyük zorluklar, elektrik tüketimini optimize etmek, daha az su kullanmak, yüksek oksijenlenme ve otomasyon sürecindeki zaman yönetimidir (Srivani ve ark., 2019).

Bu tür bir sistemde su seviyesi, elektriksel iletkenlik (E.C.), pH ve çözünmüş oksijen seviyelerinin sürekli olarak izlenmesi gerekmektedir. Besin maddelerinin homojenliğini karıştırarak korumak ve besin kabını havalandırılmak için hava motoru ve hava taşları gerekmektedir. DFT sistemleri ile başarılı bir şekilde çalışmak için büyük miktarda su ve besin gerekir. Çözünmüş oksijen seviyeleri her zaman homojenize olmaz. Ayrıca, bir DFT sisteminde gübre çözeltisinin sabit bir sıcaklığını korumanın bir NFT sistemine kıyasla daha kolay olduğunu belirtmek gerekir (Maucieri ve ark., 2019).

3.3. Damla hidroponik sistemi

Damla hidroponik sistemi biri üstte diğeri altta olmak üzere iki kaptan oluşmaktadır. Bu kurulumda bitkiler üst kaba, besin çözeltileri ise alt kaba yerleştirilir. Bir pompalama sistemi yardımıyla oksijenli besin solüsyonları kök bölgesinin yakınında bulunan damlalıklara pompalanır (Şekil 3). Filtrasyondan sonra kullanılan besin solüsyonu besin tankına geri aktarılmaktadır. Hava taşının besin çözeltisine yerleştirilmesiyle suyun oksijenlenmesi sağlanır (El-Kazzaz ve El-Kazzaz, 2017). Damla hidroponik sistem altında büyük kök sistemine sahip bitkiler yetiştirilebilmektedir (Arumugam ve ark., 2021).

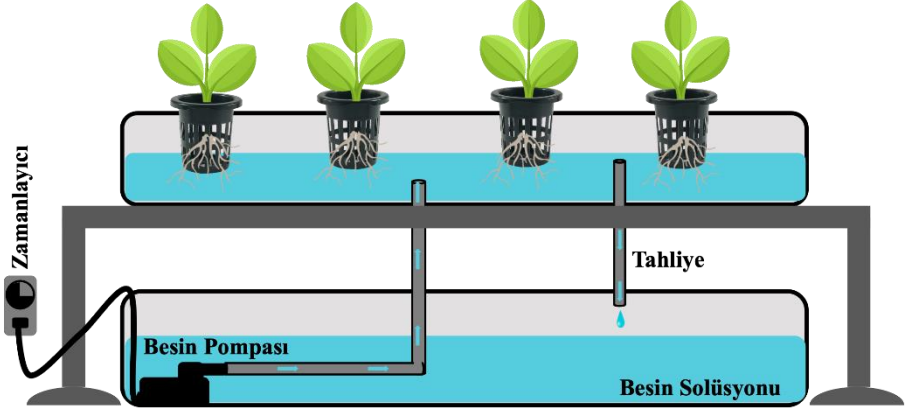


Şekil 3. Damla hidroponik sistemi

Bu sistemde besin solüsyonu, damla yayıcılar aracılığıyla bitkilere süreli olarak iletilmektedir. Yayıcılar, bitkinin gelişme aşamasına ve mevcut ışık miktarına bağlı olarak genellikle her saat başı yaklaşık 10 dakika çalışacak şekilde programlanır. Damlama döngüsü, yetiştirme ortamını temizleyerek bitkilere taze besinler, su ve oksijen sağlamaktadır (Sheikh, 2006). Besin solüsyonu, zamanlayıcılar kullanılarak taban kanalından küçük spagetti hatları ve emitörler vasıtasıyla kademeli olarak damla damla sağlanmaktadır. Sistemdeki en büyük zorluk, kök bölgesinde yeterli nemin iyi muhafaza edilmesi gerektiğidir. Damlama sistemi, suyun bitkilere stres oluşturmadan periyodik aralıklarla eşit olarak verildiği yerlerde suyu etkili ve ekonomik bir şekilde kullanır (Baddadi ve ark., 2019; Srivani ve ark., 2019).

3.4. Geçici daldırma sistemi (Ebb and Flow)

Geçici daldırma sistemi, üstteki bitkiler ve alttaki besin solüsyonunun bulunduğu iki kaptan oluşmaktadır. Damla hidroponik sistemine çok benzemektedir. Bu hidroponik sistemde, besinler damlaticılardan pompalanmaz, bunun yerine bitki köklerine akıtılır. Besin çözeltisinin seviyesini belirleyen ve ayrıca fazla besin çözeltisini alt kaba aktaran üst kaba bir taşma borusu yerleştirilir. Benzer şekilde, damla hidroponik sistemdeki gibi büyük köklere sahip bitkiler bu sistemde yetiştirilmektedir (Halveland, 2020; Arumugam ve ark., 2021; Şekil 4).



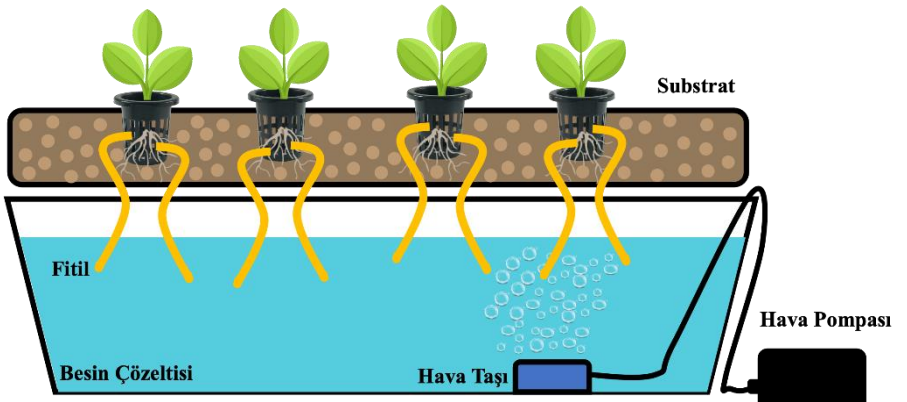
Şekil 4. Geçici daldırma sistemi

Geçici daldırma sisteminde yetiştirme tepsisi periyodik olarak doldurmak için pompa aralıklı olarak (30 dakika açık, 15 dakika kapalı) açılır ve kapanır. Pompa kapatıldığında, tüm besinler pompa hattı aracılığıyla yetiştirme tepsisinden sifonlanır. Boşalma periyodu oksijenin köklere ulaşmasını sağlar ve bu nedenle gelgit sistemleri için mutlaka bir hava taşı gerekli değildir. Damlama sistemlerinde olduğu

gibi, hemen hemen her bitki bu tür bir sistemle iyi büyüyecektir. Büyük köklere sahip bitkiler de özellikle kapalı ve akışlı sistemler için uygundur (El-Kazzaz ve El-Kazzaz, 2017).

3.5. Fital veya pasif sistem

Fital sistemi veya pasif sistem, besin çözeltisinin geri dönüştürülmediği çok daha ucuz bir tekniktir. Besin çözeltisinin geri dönüşümünün olmadığı bu sistemde bitki, suyu taşıyan köklerin ve liflerin kılcal hareketiyle çözeltiyi emmektedir. (Ferrarezi ve Testezlaf, 2016) (Şekil 5). Fital sistemi, besin çözeltisini taşımak için elektrik gerektirmez, bu nedenle elektriğin büyük bir sorun olduğu yerlerde çok faydalıdır. Bu sistem çok basit olduğu için öğretmenler tarafından sınıflarda hidroponik hakkında temel fikir konusunda çocukları eğitmek için verimli bir şekilde kullanılabilir (El-Kazzaz ve El-Kazzaz, 2017). Esas olarak küçük ölçekli üretim için kullanılan bu sistem uzun süreli mahsuller için tavsiye edilmez (Lee ve Lee, 2015).



Şekil 5. Fital sistemi

Bu sitemde fitil çerçevesinde besinler haznede tutulmakta ve Hindistan cevizi elyafı, hindistan cevizi lifi, vermikülit, perlit, pro-mix vb. yetiştirme ortamını kullanan kılcal hareket yoluyla fitil veya ip ile sisteme taşınır. NASA uzay görevi için sürdürülebilir tarım yöntemleri geliştirmiş ve soya fasulyesi, buğday, domates ve marul gibi ürünler üzerinde deneyler yapmıştır (Wheeler, 2014). Deneylerde bitkiler, bir CEA (Controlled Environment Agriculture) sisteminde naylon bazlı fitil hidroponik ile çimlendirilmiştir. Çalışmalar sonunda mahsullerin verimi, yüksek fotosentetik etkiye sahip yapay ışık radyasyonuna büyük ölçüde bağımlı olarak tespit edilmiştir (Srivani ve ark., 2019).

Fitil sistemi tüm hidroponik sistem türlerinin en basitidir. Bunun nedeni, herhangi bir hareketli parçaya sahip olmaması ve dolayısıyla herhangi bir pompa veya elektrik aksam kullanılmamasıdır. Ancak fitil, mevcut rezervuardaki bitki ile besin solüsyonu arasındaki bağlantı parçasıdır. Çalışması için elektriğe ihtiyaç duymadığı için elektriğin kullanılmadığı veya güvenilmez olduğu yerlerde de oldukça kullanışlıdır (El-Kazzaz ve El-Kazzaz, 2017).

SONUÇ

Geleneksel tarım sektörü iklim değişikliklerinden etkilenebilmekte ve bu nedenle verim ve kalite kayıpları yaşanmaktadır. Su kültürü sistemleri dünyada birçok ülkede hızla gelişim göstermiştir. Ülkemizde de ticari örnekleri görülmeye başlanmıştır. Kontrollü üretimin yapılabildiği bu sistemlerde verim ve kalitesi yüksek ürünler elde edilebilmektedir. Artan dünya nüfusu ve çevre kirliliğine bağlı olumsuz

ekolojik koşullar göz önünde bulundurulduğunda tarım sektöründe sürdürülebilirliği ve güvenli gıda üretimini sağlamak için hidroponik sistemler alternatif olarak kullanılabilir. Bu nedenle hidroponik sistemlerin geleneksel tarımın yürütülemediği şartlarda teşvik edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- Adams, P. (2002). Nutritional Control in Hydroponics. In D. Savvas ve H.C. Passam, eds. *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*, p. 211–261. EmbryoPublications, Athens, Greece.
- AlShrouf, A. (2017). Hydroponics, aeroponic and aquaponic as compared with conventional farming. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)*, 27(1), 247-255.
- Arumugam, T., Sandeep, G., ve Maheswari, M. U. (2021). Soilless farming of vegetable crops: An overview.
- Atzori, G., Mancuso, S., ve Masi, E. (2019). Seawater potential use in soilless culture: A review. *Scientia horticulturae*, 249, 199-207.
- Baddadi, S., Bouadila, S., Ghorbel, W., ve Guizani, A. (2019). Autonomous greenhouse microclimate through hydroponic design and refurbished thermal energy by phase change material. *Journal of Cleaner Production*, 211, 360-379.
- Bandi, A. C., Cristea, V., Dediu, L., Petrea, S. M., Cretu, M., Rahoveanu, A. T., Zugravu A. G., Rahoveanu M. M. T., Macuta D. N., ve Soare, I. (2016). The review of existing and in-progress technologies of the different subsystems required for the structural and functional elements of the model of multi-purpose aquaponic production system. *Romanian Biotechnological Letters*, 21(4), 11621.
- Barbosa, G. L., Gadelha, F. D. A., Kublik, N., Proctor, A., Reichelm, L., Weissinger, E., Gregory M. W., ve Halden, R. U. (2015). Comparison of land, water, and energy requirements of lettuce grown using hydroponic vs. conventional agricultural methods. *International journal of environmental research and public health*, 12(6), 6879-6891.
- Bhargaw, A., ve Chauhan, P. (2020). Analysis of soilless farming in urban agriculture. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(3), 239-242.
- Cooper, A. (1988). Growth and development of Komatsuna (*Brassica rapa* L. Nothovar) in NFT (nutrient film technique) system, as influenced by natural

- mineral. In *The ABC of NFT (Nutrient Film Technique)*, 3-123. London (UK) Grower Books.
- Cooper, A. J. (1975). Crop production in recirculating nutrient solution. *Scientia Horticulturae*, 3(3), 251-258.
- Cuba, R. D. S., do Carmo, J. R., Souza, C. F., ve Bastos, R. G. (2015). Potencial de efluente de esgoto doméstico tratado como fonte de água e nutrientes no cultivo hidropônico de alface. *Revista Ambiente & Água*, 10, 574-586.
- El-Kazzaz, K. A., ve El-Kazzaz, A. A. (2017). Soilless agriculture a new and advanced method for agriculture development: an introduction. *Agri Res Tech*, 3, 63-72.
- Ferrarezi, R. S., ve Testezlaf, R. (2016). Performance of wick irrigation system using self-compensating troughs with substrates for lettuce production. *Journal of Plant Nutrition*, 39(1), 147-161.
- Ghorbel, R., Chakchak, J., Malayoğlu, H. B., ve Çetin, N. S. (2021). Hydroponics “Soilless Farming”: The Future of Food and Agriculture–A.
- Halveland, J. (2020). Design of a Shallow-Aero Ebb and Flow Hydroponics System and Associated Educational Module for Tri Cycle Farms.
- Hewitt, E. J. (1966). Sand and water culture methods used in study of plant nutrition, 2nd edn. England, England, Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, Bucks, p 549
- Hoagland, D. R., ve Arnon, D. I. (1950). The water-culture method for growing plants without soil. Circular. California agricultural experiment station, 347(2nd edit).
- Hussain, A., Iqbal, K., Aziem, S., Mahato, P., ve Negi, A. K. (2014). A review on the science of growing crops without soil (soilless culture)-a novel alternative for growing crops. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 7(11), 833.
- Imai, H. (1987). Non-circulating hydroponics system. In: *Proc. Symp. on Hort. Prod. under Structures*. 18-19 Feb, 1987, TaiChung, Tiwan, R.O.C.
- Jones, J. B. (2005). *Hydroponic cropping (No. BOOK)*. CRC Press.

- Lee, S., ve Lee, J. (2015). Beneficial bacteria and fungi in hydroponic systems: Types and characteristics of hydroponic food production methods. *Scientia Horticulturae*, 195, 206-215.
- Manzocco, L., Foschia, M., Tomasi, N., Maifreni, M., Dalla Costa, L., Marino, M., Cortella, G., ve Cesco, S. (2011). Influence of hydroponic and soil cultivation on quality and shelf life of ready-to-eat lamb's lettuce (*Valerianella locusta* L. Laterr). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(8), 1373-1380.
- Marginson, S. (2010). Aero-farms urban agriculture system: Less space, less water, and no pesticides.
- Maucieri, C., Nicoletto, C., Van Os, E., Anseeuw, D., Van Havermaet, R., ve Junge, R. (2019). Hydroponic technologies. *Aquaponics food production systems*, 77.
- Morgan, L. (2009). Nutrient Film Technique (NFT) Production of Lettuce.
- Pradhan, B., ve Deo, B. (2019). Soilless farming-the next generation green revolution. *Current Science* (00113891), 116(5).
- Putra, P. A., ve Yuliando, H. (2015). Soilless culture system to support water use efficiency and product quality: a review. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 3, 283-288.
- Ragaveena, S., Shirly Edward, A., ve Surendran, U. (2021). Smart controlled environment agriculture methods: a holistic review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 20(4), 887-913.
- Rana, S., Bag, S. K., Golder, D., Roy, S. M., Pradhan, C., ve Jana, B. B. (2011). Reclamation of municipal domestic wastewater by aquaponics of tomato plants. *Ecological Engineering*, 37(6), 981-988.
- Raviv, M., Lieth, ve J. H. (2008). Significance of soilless culture in agriculture. *Soilless culture theory and practice*, 1-11.
- Resh, H. M. (2012). *Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower*. CRC press.
- Saaid, M. F., Yahya, N. A. M., Noor, M. Z. H., ve Ali, M. M. (2013). A development of an automatic microcontroller system for Deep Water Culture (DWC). In 2013 IEEE 9th international colloquium on signal processing and its applications (pp. 328-332). IEEE.

- Salisbury, F. B., ve Ross, C. W. (1992). *Plant Physiology*. Wadsworth Publishing Co. Inc. California.
- Savvas, D., Gianquinto, G., Tuzel, Y., ve Gruda, N. (2013). *Soilless Culture*. FAO Plant Production and Protection Paper No. 217: Good Agricultural Practices for Greenhouse Vegetable Crops.
- Savvas, D., Ntatsi, G., ve Passam, H. C. (2008). Plant nutrition and physiological disorders in greenhouse grown tomato, pepper and eggplant. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*, 2(1), 45-61.
- Sheikh, B. A. (2006). Hydroponics: key to sustain agriculture in water stressed and urban environment. *Pak. J. Agric., Agril. Eng., Vet. Sci*, 22(2), 53-57.
- Soysal, S. ve Yılmaz, A. (2021) Mikorizal Fungusların (MF) Tarla Bitkilerinde Kullanımı. G. Bengisu (Ed) *Akademik Perspektiften Tarım'a Bakış* (173-192. ss.). Adıyaman; Turkey: İKSAD. <https://iksadyayinevi.com/home/akademik-perspektiften-tarima-bakis/>
- Srivani, P., Yamuna Devi, C., ve Manjula, S. H. (2019). A controlled environment agriculture with hydroponics: variants, parameters, methodologies and challenges for smart farming. In 2019 Fifteenth International Conference on Information Processing (ICINPRO) (pp. 1-8). IEEE.
- Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution. In 6. International Congress on Soilless Culture, Lunteren (Netherlands), 29 Apr-5 May 1984. ISOSC.
- Trejo-Téllez, L. I., ve Gómez-Merino, F. C. (2012). Hydroponics-A Standard Methodology for Plant Biological Researches. Nutrient solutions for Hydroponic Systems. In *Tech, China*, 1-23.
- Van Os, E. A. (2015). Recent advances in soilless culture in Europe. *ICESC2015: Hydroponics and Aquaponics at the Gold Coast 1176*, 1-8.
- Van Os, E. A., Gieling, T. H., ve Lieth, J. H. (2019). Technical equipment in soilless production systems. In *Soilless culture* (pp. 587-635). Elsevier.
- Van Os, E. A., Gieling, T. H., ve Ruijs, M. N. A. (2002). Equipment for hydroponic installations. *Hydroponic production of vegetables and ornamentals*, 103-41.

- Wheeler, R. M. (2014). NASA's controlled environment agriculture testing for space habitats. In International Conference on Plant Factory (ICPF) (No. KSC-E-DAA-TN18592).
- Yılmaz, A. ve Soysal, S. (2021) The Necessity of Autonomous Systems in Agriculture. A. Çelik, K. Bellitürk ve M.F. Baran (Ed) Agricultural Researches Resourcebook (301-322. ss.). Adıyaman; Turkey: İKSAD. <https://iksadyayinevi.com/home/agricultural-researches-resourcebook/>
- Yılmaz, A., Soysal, S., Emiralioglu, O., Yılmaz, H., Soydemir, H. E. ve Çiftçi, V. (2021) Sürdürülebilir Tarımda Anıza Ekimin Önemi. M.F. Baran, K. Bellitürk ve A. Çelik (Ed) Türkiye’de Sürdürülebilir Tarım Uygulamaları: Zorluklar ve Potansiyeller (221-230. ss.). Adıyaman; Turkey: İKSAD. <https://iksadyayinevi.com/home/turkiyede-surdurulebilir-tarim-uygulamalari-zorluklar-ve-potansiyeller/>
- Yılmaz, A., ve Çiftçi, V. (2021) Pütresin’in Tuz Stresi Altında Yetişen Yer Fıstığı (*Arachis hypogaea* L.)’na Etkisi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (31), 562-567.

BÖLÜM 4

BİYOÇAR (BİYOKÖMÜR) VE KURAKLIK

Prof. Dr. Şefik TÜFENKÇİ^{1*}

Prof. Dr. Üstün ŞAHİN²

Dr. Öğr. Üyesi Talip ÇAKMAKCI³

Arş. Gör. Caner YERLİ⁴

^{1*} Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Van, Türkiye. sefiktufenkci@yyu.edu.tr

² Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Erzurum, Türkiye. ussahin@atauni.edu.tr

³ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Van, Türkiye. talipcakmakci@yyu.edu.tr

⁴ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Van, Türkiye. caneryerli@yyu.edu.tr

GİRİŞ

Dünya nüfusunun 2050 yılında 9 milyar seviyesine ulaşması beklenmektedir (FAO, 2011). Buna bağlı olarak, gıda ve enerji talepleri nedeniyle doğal kaynaklar (su ve toprak) üzerindeki baskı artmaya devam edecektir. Tarımsal üretimin de tatlı su kaynaklarının %70'ini kullandığı düşünüldüğünde özellikle, mevcut su kaynaklarının azalması, su kalitenin bozulması, toprak kalitesinin bozulması ve sera gazı emisyonlarının artması muhtemel görünmektedir. Bununla birlikte dünyanın birçok bölgesinde toprak verimliliğinin düşük olmasına bağlı olarak özellikle kurak ve yarı kurak bölge topraklarının çoğunun su tutma kapasitesi ve besin elementi içeriğinin düşük olduğu bilinmektedir (Khalifa ve Yousef, 2015). Ayrıca küresel ısınmanın da etkisi ile yağış rejimlerindeki ve ısı dalgalarındaki değişimlerde dahil olmak üzere hava olaylarının gerçekleşme sıklığının artışı kuraklık sorunlarını daha da artıracaktır (Mulcahy ve ark., 2013; IPCC, 2015). Bu nedenle, tarımsal ekosistemlerin iklim değişikliği etkilerine karşı direncini artırmayı amaçlayan uyum önlemlerinin belirlenmesi ve uygulanması zorunluluk haline gelmiştir.

Kurak ve yarı kurak bölgelerin topraklarında su yetersizliği sorunların başında bulunmaktadır. Yetersiz su, toprağın bitki büyümesindeki işlevini engelleyerek, tarımsal üretimde verim azalmalarına sebebiyet verir. Bu tür topraklarda toprak verimliliği yönetimi, sürdürülebilir tarımsal üretim için daha da önemli görülmektedir (Nabel ve ark., 2017). Bu durumda tarımsal üretimi mümkün kılmak için, sulama ve verimlilik yönetimi uygulamalarına odaklanılmalıdır.

Son zamanlarda, biyoçar olarak adlandırılan modifiye edilmiş (yüksek sıcaklıkta yakılmış) organik materyaller, toprak özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılarak popülerlik kazanmıştır (Verheijen ve ark., 2010; Ahmad ve ark., 2012). Lehmann ve Joseph (2015) biyoçarı “piroliz denen bir süreç olan 250 °C'nin üzerinde ve az oksijen bulunan koşullarda materyalin ısıtılmasından elde edilen ürün” olarak açıklamıştır. Biyoçar, düşük kütle yoğunluğu, yüksek gözeneklilik, yüksek yüzey alanı ve yüksek karbon içerir. Bu özellikleri toprak su tutma kapasitesini, hidrolik iletkenliği ve besin tutmayı iyileştirmeye yardımcı olabileceğinden, tarımsal üretim için topraklara eklenmesi biyoçarı umut verici bir madde yapmaktadır.

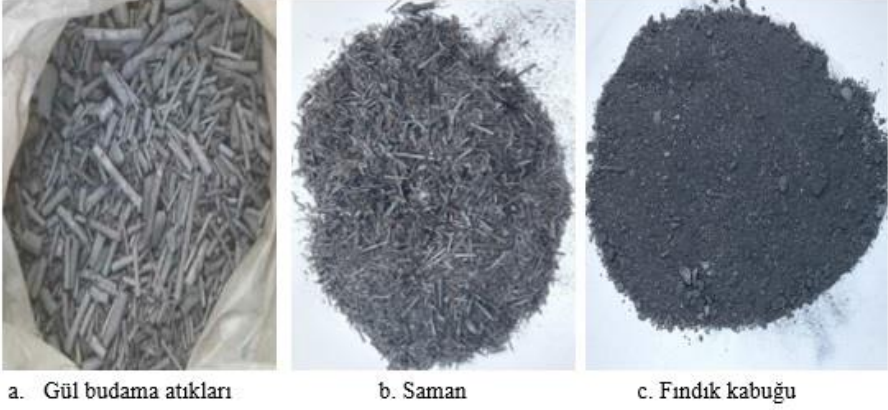
Topraklara biyoçar eklenmesi ile besin elementi alınımı (Lehmann ve ark., 2003; Oram ve ark., 2014; Kammann ve ark., 2015; Haider ve ark., 2016; Yuan ve ark., 2016), toprak verimliliği (Glaser ve ark., 2002; Spokas ve ark., 2012; Liu ve ark., 2014; Zhang ve ark., 2016), verim artışı (Biederman ve Stanley Harpole, 2013; Liu ve ark., 2013), gübre kullanımını azaltma (Sohi ve ark., 2010; Zhao ve ark., 2014), su tutma kapasitesini artırma (sera gazı emisyonlarında azalma (Cayuela ve ark., 2014; Harter ve ark., 2014), toprak erozyonunu azaltma (Li ve ark., 2017), enerji üretimi ve iklim değişikliğini hafifletme (Woolf ve ark., 2010) gibi birçok olumlu etkilerinin bulunduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca biyoçar topraktaki veya toprağa uygulanan toksik eser elementlerin (kadmiyum, krom, bakır, civa, nikel, çinko, arsenik) ve organik kirleticilerin (agro-kimyasallar, antibiyotikler) biyoyararlanımını azaltarak toprak kalitesini artırma gücü de

bulunmaktadır (Inyang ve ark., 2016; Palansooriya ve ark., 2019). Yapılan birçok çalışma sonucunda biyoçar kullanımı ile çeşitli sürdürülebilirlik hedeflere ulaşabileceği bildirilmiştir.

Biyoçar üretimine ve kullanımına kısıtlayıcı faktörlerin başında maliyeti gelmektedir. Biyoçar üretimi az olduğu için maliyeti yüksektir. Mümkün olan bütün tarımsal ve organik atıkların biyoçar üretimi için işlenmesi ve buna bağlı olarak üretim tesislerinin artması ile hem hammadde miktarı artacak hem de üretim maliyeti düşüş gösterecektir. Bu bölümde, biyoçarın önemi, özellikleri ve tarımdaki bazı uygulamalarda kullanımının etkileri hakkında ayrıntılı bilgi verilip özellikle biyoçar-su ilişkisi incelenmiştir.

1. BİYOÇARIN KARAKTERİZASYONU

Biyoçar, hammaddenin çok az oksijen veya hiç oksijen içermeyen kapalı bir ortamda prolizi sonucunda [yüksek sıcaklıkta (250-750 ° C) ısıtılmasıyla] ortaya çıkan üründür (Lehmann ve Joseph, 2015). Biyoçar, organik ve tarımsal atıklar, hasat sonrası ürün atıkları (sapsaman) ve ağaç budama atıklarından elde edilebilir (Şekil 1). Ayrıca bitkisel ürünler (mısır), mutfak atıkları (meyve-sebze kabukları), hayvan gübresi ve arıtma çamuru gibi farklı biyokütleyle sahip hammaddelerden de elde edilebildiği bildirilmiştir (Nzediegwu ve ark., 2019). Diğer bir taraftan Ogbonnaya ve Semple (2013), tüm organik atıklardan biyoçar üretilmeyeceğini, hatta üretilip kullanıldığında toprak mikrobiyal etkinliği üzerinde olumsuz etki yaratabileceğini belirtmiştir.



Şekil 1. Farklı hammaddelere ait biyoçar görünümleri (orijinal)

2. HAMMADDE VE SICAKLIĞIN BİYOÇARA ETKİSİ

Biyoçar üretiminde hem hammaddenin çeşidi hem de proliz işlemindeki sıcaklık derecesi elde edilecek ürünün kalitesini belirleyici unsurlardır. Üretim aşamasındaki (piroliz esnasında) sıcaklık biyoçarın özelliklerini belirlemede önemli rol oynamaktadır. Sıcaklık artışı ile biyoçarın fiziksel ve kimyasal özelliklerinde (özellikle kristal ve karbon yapısında) değişimler gerçekleşmektedir (Ahmad ve ark., 2012; Lehmann ve Joseph, 2015; Shaheen ve ark., 2019). Igalavithana ve ark. (2015), düşük sıcaklıkta elde edilen biyoçar malzemesinin kullanımıyla toprak verimliliği için önemli olan katyon değişim kapasitesinin arttığını bildirmişlerdir. Suliman ve ark. (2016), piroliz sıcaklığının artması ile biyoçarın pH seviyesinin yükseldiğini, katyon değişim kapasitesinin ise azaldığını ileri sürmüşlerdir. Palansooriya ve ark. (2019), üretim sıcaklığının artmasıyla biyoçarın elektriksel iletkenlik ve toplam suda çözünür iyonlarında artış gerçekleştiğini bildirmişlerdir.

Yuan ve ark. (2016), 300 ile 700 °C arasında değişen sıcaklıklarda proziz edilen arıtma çamuru biyoçarını karşılaştırmışlardır. Çalışmada, yüksek sıcaklığın, buharlaşmaya ve azot (N)'un uzaklaştırılmasına neden olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda biyoçarda daha az suda çözünür azot belirlediklerini ve bununda nitrat (NO_3^-) ve amonyum (NH_4)'un yüksek sıcaklıkta ayrışmasıyla ilişkilendirmişlerdir. Mukherjee ve ark. (2011), piroliz sıcaklıklarındaki artışların asidikliği azaltıp bazikliği artırdığını ve buna bağlı olarak alkali tuz içeriklerinin arttırdığını tespit etmişlerdir. Ippolito ve ark. (2012) yüksek piroliz sıcaklığında (500 °C) üretilen biyoçarın toprak pH'ını artırabildiğini, buna karşın daha düşük sıcaklıkta (300 °C) üretilen biyoçarın ise toprak pH'ını azalttığını bildirmişlerdir. Yapılan çalışmalar ışığında yüksek sıcaklığın fazla parçalanmaya ve gözeneklilik yapısını artırmasına karşılık, besin elementi içeriğini, toprakların kation değişim kapasitesini azalttığını, elektriksel iletkenliğini ise artırdığını söyleyebiliriz.

Biyoçar üretiminde kullanılan hammaddenin çeşidine bağlı olarak elde edilen ürünün kalite özelliği ve yararlılığı da değişmektedir. Singh ve ark. (2010) ve Fidel ve ark. (2017), çimen, mısır ve gübre hammaddesinden üretilen biyoçarda diğer hammadde kaynaklarından üretilen biyoçara göre daha fazla miktarda kül içeriği elde edildiğini bildirmişlerdir. Bu sebeple de biyoçarın kireç oluşturma etkisinin hammaddenin özelliklerinden kaynaklandığını düşünülebilir.

Hammaddenin çeşidi, tipi toprağın su tutulumunu etkilemektedir. Hardie ve ark. (2014), üretilen bazı biyoçarların gözenekliliğin toprak

neminin tutulumu için yararlı olamayacağı, biyoçarın hidrofobik özelliği gözenek boşluğunda su alınımını engellediği bildirmişlerdir. Troy ve ark. (2014), odun ve gübre hammaddelerinden üretilen biyoçarların topraktaki azot ve fosfor elementlerinin tutulumunu inceledikleri çalışmada, bitkisel kökenli (odun) biyoçarın daha fazla miktarda besin elementi tuttuğunu bildirmişlerdir. Topraklara uygulanan biyoçarın ayrışması veya uzun süre toprakta kalıcılığı, biyoçarın hammaddesinin yanında, uygulandığı toprağın özelliklerine, çevre ve iklim koşullarına bağlı olarak da değişebilir.

Biyoçarın toprak kalitesi ve verim üzerine etkisi, hammadde ve piroliz sıcaklığı dışında çoğunlukla toprak türleri, ürün çeşitliliği, iklim koşulları ve coğrafi konum farklılıkları ile oluşmaktadır. Genel olarak biyoçar, toprağın fizikokimyasal özelliklerini iyileştirilmesi nedeniyle besin açısından yetersiz ve kalitesinin bozulmuş olduğu topraklarda daha etkili olmaktadır. Yamato ve ark. (2006) ve Schmidt ve ark. (2015), biyoçar uygulamasının özellikle gübre ile uygulanması sonucunda daha etkili olduğunu ve ürün veriminin de arttığını bildirmişlerdir. Cakmakci ve ark. (2020), biber bitkisinde en yüksek bitki boyu, meyve boyu ve gövde çapını biyoçar uygulamasında tespit etmişlerdir. Benzer şekilde biyoçar uygulaması ile mısır veriminde yaklaşık %150 (Uzoma ve ark., 2011), turp veriminde % 96 (Chan ve ark., 2008) ve domates veriminde de % 13 oranında artış sağlandığı (Akhtar ve ark., 2014) bildirilmiştir.

3. BİYOÇAR - SU İLİŞKİSİ

Tarım toprakları üzerinde kuraklığın oluşturduğu zorlukları önlemeyi amaçlayan modern stratejiler, genellikle biyotik veya abiyotik önlemler olarak belirtilmektedir. Biyotik önlemler, kuraklığa dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesidir. Bitkilere kuraklığa dayanıklılık mekanizmaları sağlayan üretim teknolojilerinin yanı sıra, kabul görmüş başka diğer bir yaklaşım ise su kullanım verimliliğini artıran tarımsal yönetim uygulamalarına dayanan toprağın fiziksel ortamının (abiyotik) değiştirilmesidir. Yarı kurak ve kurak alanlar için sürdürülebilir toprak yönetimi için alternatif bir yöntem olan topraklara biyoçar karıştırılması, bu alanlardaki toprakların su tutma özelliğini artırması ile ön plana çıkmaktadır.

Biyoyoçar uygulaması ile aslında en etkili değişiklik topraktaki su içeriğinde gerçekleşmektedir. Tarımsal üretim için, toprağın su tutması çok önemlidir. Topraktaki su tutulumunda da toprağın organik madde miktarı önemli rol almaktadır. Toprak organik madde içeriği artışına paralel olarak topraktaki mikroorganizmaların etkinliği de artış gösterecektir. Biyoçar materyali hammadde ve piroliz sürecine göre değişiklik göstermesiyle birlikte yüksek gözenekliliği nedeniyle nemi emebilir ve bünyesinde tutabilir özelliğine sahiptir. Bu özelliği sayesinde toprak su tutma kapasitesini arttırabilir (Atkinson ve ark., 2010; Foster ve ark., 2016). Bununla birlikte, yüksek yüzey alanı nedeniyle sadece gözeneklerinin içinde değil, aynı zamanda partiküller arasında da su tutabilir (Edeh ve ark., 2020). Biyoçarın suyu adsorbe etme ve tutma yeteneğinin, 0,1 ile 10 µm arasında değişebilen gözenek

boyutundan kaynaklandığı ileri sürülmektedir (Liu ve ark., 2016). Biyoçar, yüksek yüzey alanı ve gözenekliliği sayesinde toprakta su tutulumunu artırmaktadır. Yine biyoçarın bu özelliği ve organik madde artışı ile toprağın kütle yoğunluğunda da düşüşlerin olması muhtemeldir. Githinji (2014), tınlı kumlu bünyeye sahip toprakta farklı oranlarda biyoçar uygulamış ve sonuçta biyoçar uygulama dozunun artmasına kıyasla toprak kütle yoğunluğunda da azalmaların meydana geldiğini tespit etmiştir. Bu çalışmalar ve sonuçlar doğrultusunda killi (ince bünyeli) bünyeye sahip topraklara uygulanan biyoçar sonrası kütle yoğunluğunun düşmesi ile toprak sıkışmasının azalması söz konusu olacaktır. Toprak sıkışmasının azaltılması ile de bitki kök gelişimi dolayısıyla bitkinin büyümesine olumlu yönde etki sağlanacaktır.

Biyoçar uygulamasının topraktaki nem içeriğinin artmasının bir yararı da bu alanda bulunan veya yeniden oluşan habitatlardır (Laghari ve ark., 2016). Bu habitatların oluşumlarına daha önce de belirtildiği gibi biyoçarın sahip olduğu yüzey alanı ve gözenekliliği etkin rol almış olup bu sayede mikroorganizmaların etkin olması için gerekli ortamın sağlanmış olduğu öngörülmektedir. Bu yeni oluşan veya büyüyen habitatlarda besin elementi alınımını ve bitki büyümesini olumlu yönde tetiklemiştir/tetikleyecektir. Ducey ve ark. (2013), biyoçar uygulamasının topraktaki azot biriktirici bakteri sayısında artış sağladığını tespit etmiştir. Masto ve ark. (2013) ve Li ve ark. (2016)'da biyoçar uygulaması ile topraktaki yararlı bakteri sayısının 1-3 kat artırdığını belirtmişlerdir.

Birçok çalışma, biyoçar uygulamasının toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirdiğini göstermiştir (Baronti ve ark., 2014; Bruun ve ark., 2014). Artiola ve ark. (2012), çam ormanı atık biyoçar uygulamasının (4 ay boyunca % 2 ve 4) toprağın hacim ağırlığını azalttığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde Bruun ve ark. (2014), kaba kumlu toprakta biyoçar uygulanmasının toprağın hacim ağırlığını azalttığını bildirmişlerdir. Baiamonte ve ark. (2015), biyoçar uygulamasının kumlu kil toprağın agregat stabilitesini arttırdığını tespit etmişlerdir. Agregat stabilitesindeki artış, özellikle su sıkıntısı durumunda toprak suyu tutulumunun artırılmasında etkili olabilir.

Kurak alanlarda tarımsal üretim için temiz su kaynaklarının yetersizliği nedeniyle tuzlu su kullanımları zorunlu olmaktadır. Tuzlu su ile strese maruz kalan bitki için biyoçar kullanımı kurtarıcı olabilir. Biyoçar tuzlu su stresinin azaltmasının yanında tuza maruz kalan toprakların ıslahı içinde kullanılabilir olması önem arz etmektedir. Thomas ve ark. (2013) ve Fiaz ve ark. (2014), biyoçar kullanımının bitki verimliliğinin geliştirmesinin yanında bitki stresi ile ilişkili olarak tuzluluk, toksik metal ve kuraklık etkilerinin azalttığını belirtmişlerdir.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde biyoçar uygulamalarının kumlu topraklarda su tutma kapasitesini daha fazla etkilediği tespit edilmiştir (Mollinedo ve ark., 2015; Justina ve ark., 2017; Edeh ve ark., 2020). Çünkü gözeneklilik yapısı sayesinde su tutulumunu daha fazla gerçekleştirmektedir. Bunun bir sebebinin de yapılan çalışmaların çoğunluğunun toprak bünyesinin kumlu olduğu bölgelerde yapılmış olması olabilir. Basso ve ark. (2013) ise tınlı kumlu toprak bünyesine

sahip topraklara biyoçar uygulamış ve biyoçar uygulaması ile su tutma kapasitesinde önemli artışlar bulmuştur. Glab ve ark. (2016) ise farklı oranlarda biyoçarı kumlu topraklarda uygulamışlar ve toprakların su tutması üzerine pozitif doğrusal bir ilişkisi olduğunu bildirmişlerdir.

Topraklara biyoçar uygulaması ile topraktaki su miktarı arttığı için biyoçarın dolaylı olarak su kullanım miktarını, bitki su tüketimini ve sulama aralığını azaltacağı olasıdır. Kurak ve yarı kurak alanlarda su tutulumunun artırılması ile toprak kalitesinin ve ürün veriminin artacağı düşünüldüğünde biyoçar gibi organik toprak düzenleyicilerinin önemi daha net anlaşılacaktır.

SONUÇ

Gıda talebindeki artışların karşılanabilmesi için sürdürülebilir tarımsal üretimin ön planda tutulması gerekmektedir. Tarımsal atıkların geri dönüştürülerek kullanılması, sürdürülebilir tarım ve güvenli gıda üretiminin sağlanmasının ayrılmaz bir parçasıdır. Özellikle bitkisel ve hayvansal atıkların toplanarak biyoçar haline dönüştürülmesi düşük toprak verimliliğine sahip alanların toprak kalitesini ve yapısını iyileştirmek için önemli bir alternatiftir. Biyoçarın yüksek gözeneklilik yapısı, su ve besin elementlerini tutması ile birlikte, toprakta mikrobiyota oluşumunu teşvik edebilir. Bu sayede bitki büyümesini ve ürün verimini arttıran mikrobiyotalarda da artış söz konusudur.

Kuru toprağa biyoçar eklenmesi, toprak nemini artırarak topraktaki gerilme mukavemeti azaltır ve bitki kök gelişimine teşvik etmiş olur. Biyoçarın, yüksek karbon içeriği ve karbon tutma potansiyeli sayesinde

toprağın organik madde içeriğini artıracığı olasıdır. Bu artış ile toprağın su emme kabiliyeti ve su tutma kapasitesi de artacağından ani yağış esnasında suyun toprakta tutulumu sağlanarak suyun yüzey akışa geçmesi engellenebilir.

Yapılan çalışmalar ışığında biyoçar kullanımı ile topraktaki suyun daha uzun süreli tutulumu sağlanabilir ve bu sayede verimde artırılabilir. Topraktaki suyun artışı ve verimdeki olumlu gelişme ile hem güvenli gıda gereksiniminin sağlanması hem de kuraklığın vereceği zararların azaltması olağan gözükmemektedir. Bununla birlikte, biyoçar kullanımı son yıllarda ortaya çıktığından dolayı uzun vadeli etkilerini belirlemek için bu alanda daha fazla araştırmaya ihtiyaç bulunmaktadır.

KAYNAKÇA

- Ahmad, M., Lee, S.S., Yang, J.E., Ro, H. M., Lee, Y. H. ve Ok, Y.S. (2012). Effects of soil dilution and amendments (mussel shell, cow bone, and biochar) on Pb availability and phytotoxicity in military shooting range soil. *Ecotox Environ Safe.* 79: 225–231.
- Akhtar, S.S., Li, G., Andersen, M.N. ve Liu, F. (2014). Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. *Agricultural Water Management.* 138, 37–44.
- Artiola, J.F., Rasmussen, C. ve Freitas, R. (2012). Effects of a biochar-amended alkaline soil on the growth of romaine lettuce and bermudagrass. *Soil Sci.* 177:561–570.
- Atkinson, C.J., Fitzgerald, J.D. ve Hips, N.A. (2010). Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils:A review. *Plant Soil.* 337,1-18.
- Baiamonte, G., De Pasquale, C., Marsala, V., Cimò, G., Alonzo, G., Crescimanno, G. ve Conte, P. (2015). Structure alteration of a sandyclay soil by biochar amendments. *J Soils Sci.* 15:816–824.
- Baronti, S., Vaccari, F.P., Miglietta, F., Calzolari, C., Lugato, E., Orlandini, S., Pini, R., Zulian, C. ve Genesio, L. (2014). Impact of biochar application on plant water relations in *Vitis vinifera* L. *Euro J Agron.* 53:38–44.
- Basso, A.S., Miguez, F.E., Laird, D.A., Horton, R. ve Westgate, M. (2013). Assessing potential of biochar for increasing water-holding capacity of sandy soils. *GCB Bioenergy.* 5, 132–143.
- Biederman, L.A. ve Stanley Harpole, W. (2013). Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *GCB Bioenergy.* 5, 202–214.
- Bruun, E.W., Petersen, C.T., Hansen, E., Holm, J.K. ve Hauggaard-Nielsen, H. (2014). Biochar amendment to coarse sandy subsoil improves root growth and increases water retention. *Soil Use Management.* 30:109–118.

- Cayuela, M.L.L., Van Zwieten, L., Singh, B.P.P., Jeffery, S., Roig, A. ve Sánchez-Monedero, M.A. (2014). Biochar's role in mitigating soil nitrous oxide emissions: a review and meta-analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.* 191, 5–16.
- Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A. ve Joseph, S. (2008). Using poultry litter biochars as soil amendments. *Aust J Soil Res.* 46: 437–444.
- Çakmakci, T., Çakmakci, Ö., Şensoy, S., & Şahin, Ü. (2021). The effect of biochar application on some physical properties of pepper (*Capsicum annum* L.) in deficit irrigation conditions. *Vth International Eurasion Agriculture and Natural Sciences Congress, Proceeding Book*, pp:38-44. 23 October 2021. ISBN: 978-605-69010-3-4.
- Ducey, T.F., Ippolito, J.A., Cantrell, K.B., Novak, J.M. ve Lentz, R.D. (2013). Addition of activated switchgrass biochar to an aridic subsoil increases microbial nitrogen cycling gene abundances. *Appl. Soil Ecol.* 65, 65–72.
- Edeh, I.G., Mašek, O. ve Buss, W. (2020). A meta-analysis on biochar's effects on soil water properties – New insights and future research challenges. *Sci. Total Environ.* 714, 136857.
- Fiaz, K., Danish, S., Younis, U., Malik, S.A., Shah, M.H. ve Niaz, S. (2014). Drought impact on Pb/Cd toxicity remediated by biochar in *Brassica campestris*. *J Soil Sci Plant Nut.* 14:845–854.
- Fidel, R.B., Laird, D.A., Thompson, M.L. ve Lawrinenko, M. (2017). Characterization and quantification of biochar alkalinity. *Chemosphere.* 167, 367–373.
- Food and Agriculture Organization (FAO) (2011). The state of the world 's land and water resources for food and agriculture – managing systems at risk. 978-1-84971-326-9
- Foster, E.J., Hansen, N., Wallenstein, M. ve Cotrufo, M.F. (2016). Biochar and manure amendments impact soil nutrients and microbial enzymatic activities in a semi-arid irrigated maize cropping system. *Agric. Ecosyst. Environ.* 233, 404–414.
- Githinji, L. (2014). Effect of biochar application rate on soil physical and hydraulic properties of a sandy loam. *Arch. Agron. Soil Sci.* 60, 457–470.

- Głąb, T., Palmowska, J., Zaleski, T. ve Gondek, K. (2016). Effect of biochar application on soil hydrological properties and physical quality of sandy soil. *Geoderma*, 281, 11-20.
- Glaser, B., Lehmann, J. ve Zech, W. (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – A review. *Biol. Fertil. Soils*. 35, 219–230.
- Haider, G., Steffens, D., Müller, C. ve Kammann, C.I. (2016). Standard extraction methods may underestimate nitrate stocks captured by field-aged biochar. *J. Environ. Qual.* 45, 1196–1204.
- Hardie, M., Clothier, B., Bound, S., Oliver, G. ve Close, D. (2014). Does biochar influence soil physical properties and soil water availability?. *Plant and Soil*. 376(1), 347-361.
- Harter, J., Krause, H.-M., Schuettler, S., Ruser, R., Fromme, M., Scholten, T., Kappler, A. ve Behrens, S. (2014). Linking N₂O emissions from biochar-amended soil to the structure and function of the N-cycling microbial community. *ISME J.* 8, 660– 674.
- Igalavithana, A.D., Ok, Y.S., Usman, A.R., Al-Wabel, M.I., Oleszczuk, P. ve Lee, S.S. (2016). The effects of biochar amendment on soil fertility. *Agricultural and Environmental Applications of Biochar: Advances and Barriers*, (sssaspepub63). 123-144.
- Inyang, M. I., Gao, B., Yao, Y., Xue, Y., Zimmerman, A., Mosa, A. ve Cao, X. (2016). A review of biochar as a low-cost adsorbent for aqueous heavy metal removal. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 46(4), 406-433.
- IPCC (2015). Part a, Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015.
- Ippolito, J.A., Novak, J.M., Busscher, W.J., Ahmedna, M., Rehrh, D. ve Watts, D.W. (2012). Switchgrass biochar affects two aridisols. *Journal of Environmental Quality*. 41(4), 1123–1130. pp. 391–419.
- Justina, V., Elena, K., Marek, R., Peter, S. ve Jan, H. (2017). Analysis of soil water content and crop yield after biochar application in field conditions. *Plant, Soil Environ.* 63, 569–573.

- Kammann, C. ve Graber, E.R. (2015). Biochar effects on plant ecophysiology. In: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.), *Biochar for Environmental Management Science, Technology and Implementation*. Routledge, New York, pp. 391–419.
- Khalifa, N. ve Yousef, L.F. (2015). A short report on changes of quality indicators for a sandy textured soil after treatment with biochar produced from fronds of date palm. *Energy Procedia*, 74, 960-965.
- Laghari, M., Naidu, R., Xiao, B., Hu, Z., Mirjat, M.S., Hu, M. ve Fazal, S. (2016). Recent developments in biochar as an effective tool for agricultural soil management: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 96(15), 4840-4849.
- Lehmann, J. ve Joseph, S. (2015). Biochar for environmental management: an introduction. In: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.), *Biochar for Environmental Management Science, Technology and Implementation*. Routledge, New York, pp. 1–13.
- Lehmann, J., Silva, J.P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W. ve Glaser, B. (2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological anthrosol and a ferralsol of the central amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant Soil*. 249, 343–357.
- Li, M., Liu, M., Li, Z., Jiang, C. ve Wu, M. (2016). Soil N transformation and microbial community structure as affected by adding biochar to a paddy soil of subtropical China. *J. Integr. Agric.* 15, 209–219.
- Li, Z., Gu, C., Zhang, R., Ibrahim, M., Zhang, G., Wang, L., Zhang, R., Chen, F. ve Liu, Y. (2017). The benefic effect induced by biochar on soil erosion and nutrient loss of slopping land under natural rainfall conditions in central China. *Agric. Water Manag.* 185, 145–150.
- Liu, X., Zhang, Y., Li, Z., Feng, R. ve Zhang, Y. (2014). Characterization of corncob-derived biochar and pyrolysis kinetics in comparison with corn stalk and sawdust. *Bioresour. Technol.* 170, 76–82.
- Liu, Z., Demisie, W. ve Zhang, M. (2013). Simulated degradation of biochar and its potential environmental implications. *Environ. Pollut.* 179, 146–152.

- Liu, C., Wang, H., Tang, X., Guan, Z., Reid, B.J., Rajapaksha, A.U., Ok, Y.S. ve Sun, H. (2016). Biochar increased water holding capacity but accelerated organic carbon leaching from a sloping farmland soil in China. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23, 995–1006.
- Masto, R.E., Kumar, S., Rout, T.K., Sarkar, P., George, J. ve Ram, L.C. (2013). Biochar from water hyacinth (*Eichornia crassipes*) and its impact on soil biological activity. *Catena*. 111, 64–71.
- Mollinedo, J., Schumacher, T.E. ve Chintala, R. (2015). Influence of feedstocks and pyrolysis on biochar's capacity to modify soil water retention characteristics. *J. Anal. Appl.* 114, 100–108.
- Mukherjee, A., Zimmerman, A.R. ve Harris, W. (2011). Surface chemistry variations among a series of laboratory-produced biochars. *Geoderma*. 163, 247–255.
- Mulcahy, D.N.L., Mulcahy, D.N.L. ve Dietz, D. (2013). Biochar soil amendment increases tomato seedling resistance to drought in sandy soils. *J. Arid Environ.* 88, 222– 225.
- Nabel, M., Schrey, S.D., Poorter, H., Koller, R. ve Jablonowski, N.D. (2017). Effects of digestate fertilization on *Sida hermaphrodita*: Boosting biomass yields on marginal soils by increasing soil fertility. *Biomass and Bioenergy*. 107, 207–213.
- Nzediegwu, C., Prasher, S., Elsayed, E., Dhiman, J., Mawof, A. ve Patel, R. (2019). Effect of biochar on heavy metal accumulation in potatoes from wastewater irrigation. *Journal of Environmental Management.*, 232, 153-164.
- Ogbonnaya, U. ve Semple, K.T. (2013). Impact of biochar on organic contaminants in soil: a tool for mitigating risk?. *Agronomy*. 3(2), 349-375.
- Oram, N.J., van de Voorde, T.F.J., Ouwehand, G.J., Bezemer, T.M., Mommer, L., Jeffery, S. ve Van Groenigen, J.W. (2014). Soil amendment with biochar increases the competitive ability of legumes via increased potassium availability. *Agric. Ecosyst. Environ.* 191, 92–98.
- Palansooriya, K.N., Ok, Y.S., Awad, Y.M., Lee, S.S., Sung, J.K., Koutsospyros, A. ve Moon, D.H. (2019). Impacts of biochar application on upland agriculture: A review. *Journal of Environmental Management*. 234, 52-64.

- Schmidt, H.P., Pandit, B.H., Martinsen, V., Cornelissen, G., Conte, P. ve Kammann, C. (2015). Fourfold increase in pumpkin yield in response to low-dosage root zone application of urine-enhanced biochar to a fertile tropical soil. *Agriculture*. 5, 723–741.
- Shaheen, S. M., Niazi, N. K., Hassan, N. E., Bibi, I., Wang, H., Tsang, D. C. ve Rinklebe, J. (2019). Wood-based biochar for the removal of potentially toxic elements in water and wastewater: a critical review. *International Materials Reviews*. 64(4), 216-247.
- Singh, B., Singh, B.P. ve Cowie, A.L. (2010). Characterisation and evaluation of biochars for their application as a soil amendment. *Soil Res*. 48, 516.
- Sohi, S.P., Krull, E., Lopez-Capel, E. ve Bol, R. (2010). A review of biochar and its use and function in soil, *Advances in Agronomy*. 1st ed. Elsevier Inc.
- Spokas, K. a., Novak, J.M. ve Venterea, R.T. (2012). Biochar's role as an alternative N-fertilizer: ammonia capture. *Plant Soil*. 350, 35–42.
- Suliman, W., Harsh, J. B., Abu-Lail, N. I., Fortuna, A. M., Dallmeyer, I. ve Garcia-Perez, M. (2016). Influence of feedstock source and pyrolysis temperature on biochar bulk and surface properties. *Biomass and Bioenergy*. 84, 37-48.
- Thomas, S.C., Frye, S., Gale, N., Garmon, M., Launchbury, R., Machado, N., Melamed, S., Murray, J., Petroff, A. ve Winsborough, C. (2013). Biochar mitigates negative effects of salt additions on two plant species. *J. Environ Manage*. 129: 62–68.
- Troy, S.M., Lawlor, P.G., O' Flynn, C.J. ve Healy, M.G. (2014). The impact of biochar addition on nutrient leaching and soil properties from tillage soil mended with pig manure. *Water, Air, Soil Pollut*. 225, 1900.
- Uzoma, K.C., Inoue, M., Andry, H., Zahoor, A. ve Nishihara, E. (2011). Influence of biochar application on sandy soil hydraulic properties and nutrient retention. *J. Food, Agric. Environ*. 9, 1137–1143.
- Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A. C., Van der Velde, M. ve Diafas, I. (2010). Biochar application to soils. *A critical scientific review of effects on soil properties, processes, and functions*. EUR, 24099, 162.

- Woolf, D., Amonette, J.E., Street-Perrott, F.A., Lehmann, J. ve Joseph, S. (2010). Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nat. Commun.* 1, 56.
- Yamato, M., Okimori, Y., Wibowo, I.F., Anshori, S. ve Ogawa, M. (2006). Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. *Soil Sci. Plant Nutr.* 52, 489–495.
- Yuan, H., Lu, T., Wang, Y., Chen, Y. ve Lei, T. (2016). Sewage sludge biochar: nutrient composition and its effect on the leaching of soil nutrients. *Geoderma.* 267, 17–23.
- Zhang, D., Pan, G., Wu, G., Kibue, G.W., Li, L., Zhang, X., Zheng, J.J., Zheng, J.J., Cheng, K., Joseph, S. ve Liu, X. (2016). Biochar helps enhance maize productivity and reduce greenhouse gas emissions under balanced fertilization in a rainfed low fertility inceptisol. *Chemosphere.* 142, 106–113.
- Zhao, X., Wang, J., Wang, S. ve Xing, G. (2014). Successive straw biochar application as a strategy to sequester carbon and improve fertility: a pot experiment with two rice/wheat rotations in paddy soil. *Plant Soil.* 378, 279–294.

BÖLÜM 5

TIBBİ VE AROMATİK BİTKİLERİN SEKONDER METABOLİT PROFİLİNE KURAKLIĞIN ETKİSİ

Öğr. Gör. Hilal YILMAZ^{1*}

Doç. Dr. Funda DÖKMEN²

^{1*} Kocaeli Üniversitesi, İzmit MYO Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Programı, Kocaeli, Türkiye. hilal.yilmaz@kocaeli.edu.tr

² Kocaeli Üniversitesi, İzmit MYO Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Programı, Kocaeli, Türkiye. funda.dokmen@kocaeli.edu.tr

GİRİŞ

Sekonder metabolitler, bitkilerin yaşamsal faaliyetlerinin devamlılığında mutlak gerekli olmayan ancak bitki-hayvan etkileşimlerinde, biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı adaptasyonda önemli rollere sahip kimyasal bileşiklerdir (Horner, 1990). Bitkiler biyotik veya abiyotik streslerin negatif etkilerinden korunmak ve bitki gelişimindeki kaybı azaltmak için antioksidatif enzimleri, sekonder metabolitleri ve bazı hormonları dokularında biriktirmektedir (Laloi ve ark., 2004; Spoel ve Dong, 2008; Yılmaz ve Kulaz, 2019). Bunlar arasında sekonder metabolitler, çeşitli çevresel streslere karşı bitkilerin adaptasyonunda ve korunmasında önemli işleve sahip bileşiklerdir (Akula ve Ravishankar, 2011). Yüksek ekonomik değere sahip olan bu metabolitler (uçucu yağlar, alkaloidler, glikozitler, fenolik maddeler vs) ilaç, parfüm, baharat (aroma maddelerinde), pestisit, insektisit ve boya yapımı gibi çok farklı alanlarda kullanılmaktadır. Bitki hücre metabolizmasının yan ürünü olarak üretilen bu kimyasallar, bitkinin kök, gövde, yaprak, çiçek gibi organlarında farklı oranlarda bulunmaktadır (Bakır, 2020). Ayrıca bu metabolitlerin, aynı bitki türleri arasında bile yüksek varyasyon gösterdiği yapılan çalışmalarla tespit edilmiştir (Wink, 2009). Bu bileşiklerin miktarı ve kompozisyonu uygulanan tarımsal teknikler ve hasat sonrası işlemlerden, düşük sıcaklık, ışık şiddeti, kuraklık, toprak besin maddesi eksikliği veya fazlalığı ve tuzluluk gibi çevresel faktörlerden oldukça etkilenmektedir (Akula ve Ravishankar, 2011; Soltanbeigi, 2020).

1. KURAKLIK STRESİ

İklim değişikliği başta kurak ve yarı kurak bölgeler olmak üzere dünyanın birçok bölgesinde tarım alanlarında verimi önemli ölçüde etkilemiştir (Soltanbeigi, 2019; Hatamian ve ark., 2020; Yılmaz ve Çiftçi 2021). Üretimi sınırlayan önemli faktörlerden biri olan kuraklık nedeniyle tarımsal ürünlerin verim düşüşünün ortalama %25'ten fazla olduğu bilinmektedir (Delfine ve ark., 2005). Kuraklık bitkinin yapraklarında bulunan stomaların kapanmasına, fotosentez hızının azalmasına ve buna bağlı olarak bitki büyüme ve gelişimini etkileyen önemli fizyolojik ve metabolik faaliyetlerin sekteye uğramasına neden olmaktadır (Tardieu ve ark., 2018; Farooq ve ark., 2009). Bitkilerin taze ağırlıklarının yaklaşık %90'ını su oluşturmaktadır (Anjum ve ark., 2011). Kuraklık dönemlerinde bitkiler stomalarını kapatarak bünyelerindeki su kaybını engellemeye çalışmaktadır (Çırak ve Esendal, 2006). Bunun sonucunda stoma açıklığına bağlı karbondioksit alımı düşmekte ve bitki büyümesini sınırlayan fotosentetik aktivite azalmaktadır (Şekil 1; Osakabe ve ark., 2014). Aynı zamanda bitkiler, hücrelerini su stresinin olumsuz etkilerinden korumak için ozmolit olarak adlandırılan suda çözünebilen maddeler sentezleyebilmekte ve hücre turgor basıncını koruyarak ozmotik dengeleme oluşturmaktadır (Öztürk, 2015). Prolin, glisin, asparajin gibi serbest amino asitlerin yanı sıra organik asitler ve karbonhidratlarda ozmolitlere örnek olarak verilebilir. Dokularda su dengesinin sağlanmasında önemli rol oynayan ozmolitlerin fazla birikmesi kuraklık stresine toleransı olumsuz etkilemektedir (Yüksel ve Aksoy, 2017). Yüksek oksijen içeren fotosentetik hücreler reaktif

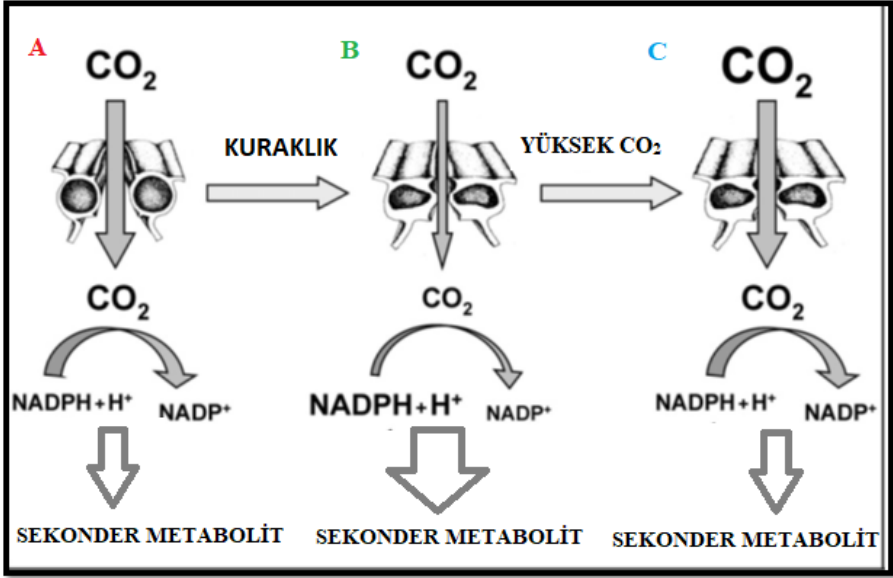
oksijen türlerine karşı oldukça hassastırlar (Robinson, 1988). Fotosentez aktivitesinin azalmasına bağlı olarak hidrojen peroksit gibi reaktif oksijen bileşikleri oluşmaktadır. Bu bileşiklerin aşırı birikimleri lipit peroksidasyonu artırmaktadır (Bhargava ve Sawant, 2013; Selmar ve Kleinwachter, 2013a). Su stresi sonucunda yaprak sıcaklıklarında artış meydana gelmekte, iyon birikimi artmakta, membran hasarı oluşmasıyla hücrede bulunan proteinlerin yapısı bozulmaktadır (Burke ve Hatfield, 1987). Hatta hücre içi savunma mekanizması yetersiz olduğunda DNA ve RNA hasara uğrayarak hücre ölümüne yol açabilmektedirler (Öztürk, 2015).



Şekil 1: Kuraklık Stresinin Etkileri

1.1. Kuraklık Stresinde Sekonder Metabolit Üretim Mekanizması

Suyun kısıtlı olduğu durumlarda terleme yoluyla su kaybını en aza indirmek için bitkilerin stomalarını kapatması karbondioksit (CO_2) alınımını azaltmaktadır (Şekil 2). Düşük miktarlarda alınan karbondioksit Calvin Döngüsü aracılığıyla sabitlenmekte ve bunun sonucunda hücrede daha az NADPH^+H^+ tüketilmektedir. Sonuç olarak, küçük miktarlarda oksitlenmiş indirgeme eşdeğerleri (NADP^+) mevcutken buna karşılık büyük miktarlarda NADPH^+H^+ birikmektedir (Selmar and Kleinwächter, 2013a). Bu indirgenmiş koenzim fazlalığı nedeniyle hücrede NADPH^+H^+ tüketen tüm reaksiyonlar; yani fenoller, terpenoidler, alkaloidler, siyanojenik glikozitler ve glukozinolatlar gibi yüksek oranda indirgenmiş sekonder metabolitlerin sentezlenmeleri teşvik edilmektedir. Bu durum kuraklık stresi altında yetişen bitkilerde sıklıkla sekonder metabolitlerin miktarını olumlu bir şekilde etkilemektedir (Tablo 1). Bu sayede birçok tıbbi ve aromatik bitkinin ürün kalitesi önemli ölçüde artmaktadır (Selmar and Kleinwächter, 2013a; Kleinwächter ve ark., 2015).



Şekil 2: Kuraklık Stresiyle Stomaların Kapanması ve CO₂ Kazanımı. A: Düzenli, iyi sulanan koşullar altında, yapraklarda belirli bir CO₂ konsantrasyonu bulunur. B: Kuraklık stresi yaşayan bitkilerde su kıtlığı stomaların kapanmasına neden olur. Difüzyon direncindeki artıştan dolayı, stres altındaki yapraklarda iç CO₂ konsantrasyonu çok daha düşüktür. Sonuç olarak, Calvin döngüsü içinde çok daha az NADPH+H⁺ tüketilir ve indirgeme potansiyeli artar. C: CO₂ konsantrasyonu güçlü bir şekilde arttırıldığında, kapalı stomanın difüzyon direnci hala yüksek olmasına rağmen, artan difüzyon fazla CO₂ akışıyla sonuçlanır. Ortam CO₂ konsantrasyonları altında stresli yapraklarda NADPH+H⁺'nin NADP⁺'ya oranının artmasının bir sonucu olarak, sekonder metabolitlerin sentezi artar (Selmar and Kleinwächter, 2013a).

2. TIBBİ VE AROMATİK BİTKİLERDE KURAKLIK STRESİ ÇALIŞMALARI

Kekik bitkisinde (*Thymus vulgaris*) yapılan bir çalışmada kuraklık stresinin uçucu yağ veriminin kontrol grubuna göre %66 artış gösterdiği tespit edilmiştir (Hassan ve ark., 2019). Diğer bir çalışmada ise kekik bitkisinin (*Thymus vulgaris*), sekonder metabolit konsantrasyonlarının orta dereceli kuraklık stresinde %40, kısa süreli kuraklık stresinde ise %15 arttığı, kırlangıç otunda ise (*Chelidonium majus*) bu değerlerin sırasıyla %33 ve %8 olduğu bildirilmiştir (Kleinwächter ve ark., 2015). Araştırmacılar daha uzun kuraklık şartlarının bitkinin toplam verimini düşüreceğini ancak yüksek terpen konsantrasyonlarına sahip kaliteli bir kekik ürünü üretmek için, kekik bitkilerinin kısa süreli kuraklık stresine maruz kalabileceğini önermişlerdir (Kleinwächter ve ark., 2015). Karimzadeh Asl ve ekibi yaptıkları tarla çalışmasında kuraklık stresinde tıbbi ve aromatik bitkilerin daha fazla metabolit ürettiğini ve bu durumda uçucu yağ yüzdesini arttırdığını tespit etmişlerdir. Ancak kuraklık stresi altında bitkinin biyokütlesi küçüldüğünden uçucu yağ veriminin azalacağını, bu nedenle %50 tarla kapasitesi sulama uygulamasının yağ yüzdesi ile en yüksek uçucu yağ verimi arasında dengeyi sağladığını bildirmişlerdir (Karimzadeh Asl ve ark., 2018). Lavanta (*Lavandula officinalis*), Biberiye (*Rosmarinus officinalis*) ve Kekik (*Thymus vulgaris*) bitkilerinde kuraklığın uçucu yağ yüzdesinde önemli bir artışa neden olduğu doğrulanmıştır (Pirzad ve Mohammadzadeh,

2018). Ayrıca stres şartlarında bitkilerde üretilen fazla sekonder metabolitin hücrelerde oksitlenmeyi önlediği ifade edilmiştir.

Önemli bir abiyotik stres faktörü olan kuraklık durumunda bitkiler savunma tepkisini yükseltmekte ve bu da sekonder metabolit seviyelerinin yükselmesine neden olmaktadır (Ali ve ark., 2006). Fesleğen bitkisinde fenolik bileşiklerin ve antioksidan aktivitesinin arttırılması için biyotik ve abiyotik stresin genetik modifikasyon yerine alternatif ve etkili bir yol olabileceği vurgulanmıştır (Pirbalouti ve ark., 2017). Mercanköşk (*Majorana hortensis*), Melisa (*Melissa officinalis*), Nane (*Mentha piperita*) ve Kekik (*Thymus vulgaris*) bitkilerinde, bitki türlerinin kuraklık stresine verdikleri tepkilerin farklı olduğu belirlenmiştir. Mercanköşk ve kekik bitkisinin önemli monotерpen bileşenlerinin arttığı ancak melisa ve nane bitkilerinin ekonomik öneme sahip bileşenlerinde önemli farklılık olmadığı tespit edilmiştir (Németh-Zámbori ve ark., 2016). Kısa süreli kuraklık stresinin ise çay bitkisinde flavonoid ve epikateşinlerin miktarını arttırdığı ve bu sekonder metabolitlerin kuraklık savunma mekanizmalarında koruyucu rolü olduğu bildirilmiştir (Hernández ve ark., 2006). Tarhun bitkisinde de genotipler arasında kuraklığa bağlı olarak uçucu yağ bileşenlerinin içeriğinde önemli kalıtsal farklılıklar olduğu ve bu nedenle, özellikle seleksiyon amaçlı ıslah programlarında kullanılmasının, amaçlanan hedefe ulaşmak için uygun bir kısa yol olduğu ifade edilmiştir (Mumivand ve ark., 2021).

Tablo 1: Kuraklığın Bazı Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Sekonder Metabolitleri Üzerine Olumlu Etkisi

Latince	Türkçe	Sekonder Metabolit	Artış Oranı	Kaynak
<i>Thymus vulgaris</i>	Kekik	Esansiyel Yağlar	%66	Hassan ve ark., 2019
<i>Dracocephalum moldavica</i>	-	Esansiyel Yağ Miktarı	Artmıştır	Karimzadeh Asl ve ark.,2018
<i>Satureja hortensis L.</i>	Sater	Esansiyel Yağ	Artmıştır	Radácsi ve ark., 2019
<i>Savla officinalis</i>	Tıbbi Adaçayı	Camphor, α -thujone 1.8-cineole	Artmıştır	Bettaieb ve ark., 2009
<i>Lavandula officinalis</i> <i>Rosmarinus officinalis</i> <i>Thymus vulgaris</i>	Lavanta Biberiye Kekik	Esansiyel Yağ Yüzdesi	Artmıştır	Pirzad ve Mohammadzadeh, 2018
<i>Ocimum basilicum</i>	Fesleğen	Toplam Fenol, Esansiyel Yağ Verimi	Artmıştır	Pirbalouti ve ark., 2017
<i>Thymus vulgaris</i> <i>Chelidonium majus</i>	Kekik Kırlangıç Otu	Monoterpenler Alkoloitler	%40-%15 %33-%8	Kleinwächter ve ark., 2015
<i>Majorana hortensis</i>	Mercanköşk	Terpinen-4-ol γ -Terpinene	%8,6 %3	Németh-Zámbori ve ark., 2016
<i>Melissa officinalis</i>	Melisa	Citronellal	%1,9	Németh-Zámbori ve ark., 2016
<i>Mentha piperita</i>	Nane	Limonene Iso-Menthone	%1 %2,2	Németh-Zámbori ve ark., 2016
<i>Thymus vulgaris</i>	Kekik	α -Thujene γ -Terpinene	%7,2 %9,6	Németh-Zámbori ve ark., 2016
<i>Camellia sinensis</i>	Çay	Epicatechins	30-100 kat artmıştır	Hernandez ve ark.,2006
<i>Artemisia dracunculus</i>	Tarhun	Estragol	%88,4	Mumivand ve ark., 2021
<i>A. dracunculus</i>	Tarhun	Z- β -osimen E- β -osimen	%7,81 %5,84	Mumivand ve ark., 2021
<i>A. dracunculus</i>	Tarhun	Limonen	%3,32	Mumivand ve ark., 2021

SONUÇ

Tıbbi ve aromatik bitkiler özellikle gıda ilaç ve kozmetik sektöründe kullanılan önemli aktif biyomoleküllere sahip kaynaklar oldukları için bu bitkilerle yapılacak kuraklık çalışmalarına öncelik verilmesi gerekmektedir. Artan tıbbi beslenme, kozmetik ve hijyenik ihtiyaçlar nedeniyle bu endüstrilerin hammaddesi olarak kullanılan tıbbi bitkilere yönelik dünyada bitki yetiştiriciliği yaygınlaşmakta ve bu konuda daha fazla araştırma ve çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Doğal metabolitlerin kalitesi ve miktarı, kuraklık, ışık, tuz ve sıcaklık gibi farklı abiyotik ve biyotik stres etmenlerinin süresine bağlıdır. Sekonder metabolitlerin üretimi, stres koşulları sırasında bitkiler tarafından salgılanan önemli savunma mekanizmalarından biridir. Abiyotik stresin bitkilerde sekonder metabolit üretimini artırdığını, özellikle aromatik bitkilerde uçucu yağ kalitesini yükselttiğini yapılan çalışmalar desteklemektedir. Çalışmalar incelendiğinde, sekonder metabolitlerin önemli bir abiyotik stres olan kuraklığın neden olduğu zararların önlemesine yardımcı olabileceği görülmektedir. Uzun zaman ve yoğun iş gücü isteyen genetik ıslah çalışmalarının ve gen modifikasyonlarının yerine alternatif olarak kuraklık stresi uygulanarak sekonder metabolitlerin artırılması sağlanabilir.

İklim değişikliğinin sekonder metabolitler üzerine etkisiyle ilgili veriler henüz çoğu bitki türünde bilinmemektedir. Sekonder metabolizma üzerinde kuraklık stres etkisini araştırmak için yapılan çalışmalar özellikle sekonder metabolitlerin farklı bitki türlerinde konsantrasyon miktarlarının değişmesi, farklı kimyasal maddelere

sahip olması, sistematik bir yaklaşım eksikliği gibi nedenlerden dolayı yetersizdir. Tıbbi bitkiler sadece su stresine karşı yüksek tolerans göstermezler, aynı zamanda diğer bitkilere kıyasla yüksek sıcaklıklar, zararlılar, hastalıklar, toprak-su tuzluluğu ve yetersiz asitlik gibi olumsuz çevresel koşullarına karşı da daha toleranslıdır. Kurak iklimlerde yetişen ve uzun yıllar olumsuz çevre koşullarına başarılı bir şekilde uyum sağlamış tıbbi ve aromatik bitki türleri bulunmaktadır. Gelecekte öngörülen iklim değişikliklerine karşı tarımda alternatif olarak bu bitkilerin yetiştirilmesinin ekonomiye önemli ölçüde katkılar sağlayabileceği gerçeği unutulmamalıdır.

KAYNAKÇA

- Akula, R. ve Ravishankar, G. A. (2011) Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant Signaling & Behavior* 6 (11), 1720–1731. <https://doi.org/10.4161/psb.6.11.17613>.
- Ali, M. B., Khatun, S., Hahn, E. J. ve Paek, K. Y. (2006) Enhancement of phenylpropanoid enzymes and lignin in *Phalaenopsis* orchid and their influence on plant acclimatisation at different levels of photosynthetic photon flux. *Plant Growth Regul.*, 49, 137–146.
- Anjum, S.A., Xie, X, Wang, L., Saleem, M. F., Man, C. ve Lei, W. (2011) Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *Afr. J. Agric. Res.*, 6: 2026-2032.
- Bakır, Ö. (2020) Sekonder Metabolitler ve Roller. *Uluslararası Anadolu Ziraat Mühendisliği Bilimleri Dergisi*, 2(4), 39-45.
- Bettaieb, I., Zakhama, N., Wannes, W. A., Kchouk, M. E. ve Marzouk, B. (2009) Water deficit effects on *Salvia officinalis* fatty acids and essential oils composition. *Sci. Hortic.* 120, 271–275.
- Bhargava, S. ve Sawant, K. (2013) Drought stress adaptation: metabolic adjustment and regulation of gene expression. *Plant Breed.*, 132: 21-32.
- Burke, J. J. ve Hatfield, J. L. (1987) Plant morphological and biochemical responses to field water deficit. III. Effect of Foliage Temperature on the potential activity of Glutathione reductase. *Plant Physiol.*, 85; 100-103.
- Çırak, C. ve Esendal, E. (2006) Soyada kuraklık stresi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 21(2), 231-237.
- Delfine, S., Loreto, F., Pinelli, P., Tognetti, R. ve Alvino, A. (2005) Isoprenoids content and photosynthetic limitations in rosemary and spearmint plants under water stress. *Agric. Ecosyst. Environ.* 106 (2-3), 243–252. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.10.012>.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. ve Basra S. M. A. (2009) Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agron. Sustain. Dev.*, 29: 185-212.

- Hatamian, M., Rezaei Nejad, A., Kafi, M., Souri, M.K. ve Shahbazi, K. (2020) Interaction of lead and cadmium on growth and leaf morphophysiological characteristics of European hackberry (*Celtis australis*) seedlings. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 7 (1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/s40538-019-0173-0>.
- Hernández, I., Alegre, L. ve Munné-Bosch, S. (2006) Enhanced oxidation of flavan-3-ols and proanthocyanidin accumulation in water-stressed tea plants. *Phytochemistry*, 67(11), 1120-1126.
- Horner, J.D. (1990) Nonlinear effects of water deficits on foliar tannin concentration. *Biochemical Systematics and Ecology* 18, 211–213. [https://doi.org/10.1016/0305-1978\(90\)90062-K](https://doi.org/10.1016/0305-1978(90)90062-K).
- Kleinwächter, M., Paulsen, J., Bloem, E., Schnug, E. ve Selmar, D. (2015) Moderate drought and signal transducer induced biosynthesis of relevant secondary metabolites in thyme (*Thymus vulgaris*), greater celandine (*Chelidonium majus*) and parsley (*Petroselinum crispum*). *Industrial Crops and Products*, 64, 158-166.
- Laloi, C., Appel, K. ve Danon, A. (2004). Reactive oxygen signalling: *The latest news. Current Opinion in Plant Biology* 7, 323–328.
- Mumivand, H., Ebrahimi, A., Morshedloo, M. R. ve Shayganfar, A. (2021) Water deficit stress changes in drug yield, antioxidant enzymes activity and essential oil quality and quantity of Tarragon (*Artemisia dracunculus* L.). *Industrial Crops and Products*, 164, 113381.
- Németh-Zámbori, É., Szabó, K., Pluhár, Z., Radácsi, P. ve Inotai, K. (2016) Changes in biomass and essential oil profile of four Lamiaceae species due to different soil water levels. *Journal of Essential Oil Research*, 28(5), 391-399.
- Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K. ve Tran L. P. (2014) Response of plants to water stress. *Front. Plant Sci.*, 5: Article 86
- Öztürk, N. Z. (2015) Bitkilerin kuraklık stresine tepkilerinde bilinenler ve yeni yaklaşımlar. *Turkish Journal Of Agriculture-Food Science And Technology*, 3(5), 307-315.
- Pirbalouti, A.G., Malekpoor, F., Salimi, A., Golparvar, A. ve Hamedi, B. (2017) Effects of foliar of the application chitosan and reduced irrigation on

- essential oil yield, total phenol content and antioxidant activity of extracts from green and purple basil. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus* 16, 177–186. <https://doi.org/10.24326/asphc.2017.6.16>.
- Pirzad, A. ve Mohammadzadeh, S. (2018) Water use efficiency of three mycorrhizal Lamiaceae species (*Lavandula officinalis*, *Rosmarinus officinalis* and *Thymus vulgaris*). *Agric. Water Manag.* 204, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.03.020>.
- Robinson, J. M. (1988). Does O² photoreduction occur within chloroplasts in vivo?. *Physiologia Plantarum*, 72(3), 666-680.
- Selmar, D. ve Kleinwachter, M. (2013a) Influencing the product quality by deliberately applying drought stress during the cultivation of medicinal plants. *Industrial Crops and Products* 42, 558–566. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.06.020>.
- Selmar, D. ve Kleinwächter, M. (2013b) Stress enhances the synthesis of secondary plant products: the impact of the stress-related over-reduction on the accumulation of natural products. *Plant Cell Physiol.* 54, 817–826.
- Soltanbeigi, A. (2019) Effect of drought stress and seed pretreatment with CCC on yield and yield components of maize varieties. *J. Tekirdag Agric. Fac.* 16 (1), 55– 64. <https://doi.org/10.33462/jotaf.517003>.
- Soltanbeigi, A. (2020) Qualitative variations of lavandin essential oil under various storage conditions. *J. Essent. Oil-Bear. Plants.* 23 (6), 1237–1252. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2020.1871076>.
- Spoel, S.H. ve Dong, X. (2008) Making sense of hormone crosstalk during plant immune response. *Cell Host & Microbe* 3, 348–351
- Tardieu, F., Simonneau, T. ve Muller, B., (2018) The physiological basis of drought tolerance in crop plants: a scenario-dependent probabilistic approach. *Annu. Rev. Plant Biol.* 69, 733–759. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042817-040218>.
- Wink, M. (2009) Chapter 1 Introduction. *Annual Plant Reviews* 39,1-20.

- Yılmaz, A. ve Çiftçi, V. (2021) Pütresin'in Tuz Stresi Altında Yetişen Yer Fıstığı (*Arachis hypogaea* L.)'na Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 562-567.
- Yılmaz, H. ve Kulaz, H. (2019). The effects of plant growth promoting rhizobacteria on antioxidant activity in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under salt stress. *Legume Research-An International Journal*, 42(1), 72-76.
- Yüksel, B. ve Aksoy, Ö. (2017) Su stresi koşullarında bitkilerde gözlenen değişimler. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 10(2), 01-05.

BÖLÜM 6

TARIMDA GENOM DÜZENLEME UYGULAMALARI

Araş. Gör. Sibel TURAN¹

¹ Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Kayseri, Türkiye. sibelturan@erciyes.edu.tr

GİRİŞ

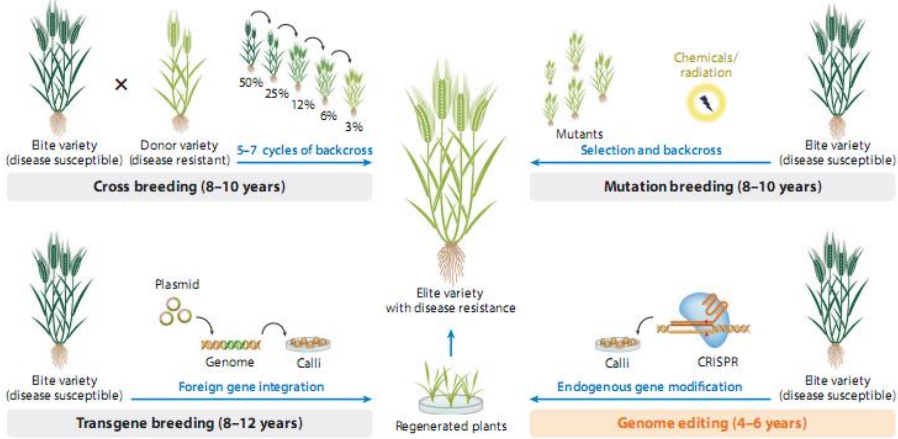
Yakın gelecekte dünya nüfusunun 10 milyara ulaşması ve akabinde gerçekleşecek küresel ürün talebinin 2005 yılına kıyasla %100-110 artacağı tahmin edilmektedir (Tilman ve ark., 2011; Jaganathan ve ark., 2018). Bu durumdan dolayı gıda güvenliğini sağlamak insanlığın karşılaştığı en önemli zorluklardan biridir (Li ve ark., 2018, Yılmaz ve Çiftçi 2021). İklim değişiklikleri nedeniyle biyotik ve abiyotik stres faktörleri artmakta, su kaynakları yetersiz kalmakta ve hızla artan nüfusun beslenme ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için ekilebilir alanlar daralmaktadır (Li ve ark., 2018). Birim alandan alınan ürün miktarları beslenme ve gıda taleplerinin karşılanabilmesi açısından çok oldukça önemlidir (Soysal ve Yılmaz 2021). Tarımda üretimin artırılması için bitki yetiştirme uygulamalarında önemli yeniliklere ve modern tarım uygulamalarına ihtiyaç duyulmaktadır (Li ve ark., 2018; Yılmaz ve ark., 2021). Son yıllarda birçok biyolojik mekanizma deşifre edilmiş, genetik ve epigenetik faktörlerin rolü bitkisel ürünlerin geliştirilmesine katkıda bulunmuştur. Bitki ıslahçıları ve bitki bilimcileri, bitki türlerini genetik olarak iyileştirmek için seçici yetiştirme programlarında çeşitli yöntemler kullanmışlardır. Tarımda faydalı uygulamalar sağlamak için genoma yeni genler eklemek, hedeflenen genleri aktive etmek veya inaktive etmek (knock-in veya knock out) için genetik kodu düzenlemenin daha iyi yollarını aramışlardır. Son zamanlarda, bitkilerde çok sayıda yeni gen ve bunların düzenleyici yolları tanımlanmıştır (Li ve ark., 2018). Elde edilecek ürünün özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik klasik bitki ıslahı stratejileri kullanılarak elit çeşitlerin geliştirilmesi çalışmaları hem zor hem de uzun zaman

almaktadır. Diğer taraftan, genom düzenlemek için kullanılan modern teknikler, yabancı bir genin genomun önceden belirlenmiş bir bölgesine entegre edilmesine izin vermekte ve mevcut bir genin alternatif başka bir gen ile doğru bir şekilde değiştirilmesine olanak sağlamaktadır (Feng, 2013).

1. YENİ NESİL ISLAH TEKNOLOJİLERİ

Modern ıslah aracılığıyla tarımsal üretkenliği artırmak, küresel gıda üretimi ve güvenliği için kilit bir hedefdir. Biyotik ve abiyotik stres faktörleri, ürün kalitesinin yanı sıra verimliliği de etkiler ve bu stres faktörlerine karşı adaptasyonu iyileştirilmiş, verimliliği yüksek ve dayanıklı ürünlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Yeni nesil genom düzenleme uygulamalarındaki son gelişmeler gen mühendisliği için önemli adımlar atılmasına olanak sağlamıştır. Yapay olarak geliştirilmiş melez enzimler, çinko parmak nükleazlar (ZFNs), transkripsiyon aktivatör benzeri efektör nükleazlar (TALENs) ve CRISPR (kümelenmiş düzenli ara boşluklu kısa palindromik tekrarlar) gibi sistemler bitki bilimcilerinin istenilen genleri manipüle etme imkanına sahip olmalarını sağlamıştır (Gaj ve ark. 2013; Hsu ve ark, 2013). ZFNs ve TALENs sistemleri ile kıyaslandığında, CRISPR/Cas sistemi daha etkin ve daha az zamanda hayata geçirilen genom düzenleme sistemidir. Bu uygulama da çift iplikli DNA da kırıklar oluşturulmak için enzimatik bir makas (Cas9 nükleaz) kullanılmaktadır. Hedef genin dizi bilgisi bilindiği durumlarda, verimli olarak kullanılan bir genom düzenleme uygulaması olan CRISPR/Cas sistemi ile mutasyon ıslahı yolu prensibi doğrultusunda yeni çeşitler

oluşturulmaktadır (Nekrasov ve ark., 2013). CRISPR/Cas9, bitki genomunun düzenlemesi için tasarımı kolay, uygun maliyetli ve çok yönlü bir araçtır (Xu ve ark., 2020). Son yıllarda, CRISPR/Cas9 sistemi, tek nükleotid değişimi, multipleks gen düzenleme, gen susturma ve bitkilerde gen transkripsiyonunun düzenlenmesi dahil olmak üzere hedeflenen mutasyonun oluşması için önemli bir sistem olmuştur. Bu nedenle, CRISPR/Cas9 tabanlı genom düzenleme, bitkilerin iyileştirilmesi için önemli bir potansiyele sahiptir.



Şekil 1. Modern tarımda kullanılan ıslah yöntemlerinin karşılaştırılması. Melezleme: Bir özelliğin (örneğin hastalık direncinin) geliştirilmesi elit bir alıcı hattını bir donör hattı ile geçmek ve istenen özellik ile olağanüstü soy seçmek. Verici hattan istenen özelliği elit alıcı hatta eklemek için, seçilen soy, beklenmedik bağlantılı özellikleri ortadan kaldırmak için birkaç nesil boyunca alıcı soy ile geri çaprazlanmalıdır. Mutasyon ıslahı: Bitki materyallerini (tohumlar gibi) işlemek ve rastgele mutagenizasyon yoluyla mutantlar oluşturmak için kimyasal veya fiziksel mutagenler kullanarak bir özelliğin iyileştirilmesi. Transgenik yetiştirme: Bilinen eksojen genleri elit çeşitlere aktararak bir özelliği geliştirmek. Genom düzenleme: Hedef genleri tam olarak değiştirerek veya seçkin çeşitlerde kromozomları yeniden düzenleyerek yeni bir özelliği geliştirmek (Chen ve ark., 2019).

Mutasyon ıslahı, melezleme ve gen aktarım yöntemleri ile bitki ıslah çalışmaları için modern tarımda kullanılan başlıca yöntemlerdir. İstenilen özelliklerin klasik ıslah yöntemleri kullanılarak diğer nesillere aktarılması uzun yıllar almaktadır. Binlerce yıldır yapılan ıslah çalışmaları sonucunda, bitki genomlarında homozigotluk artmış, genetik çeşitlilik büyük ölçüde azaltılmış ve birçok özelliğin geliştirme potansiyeli sınırlanmıştır (Şekil 1). Mutasyon ıslahı uygulamalarında kimyasal veya fiziksel mutajenler kullanılarak rastgele mutasyonlar oluşturulmuş ve genetik çeşitliliğin artması sağlanmıştır (Pacher ve Puchta 2017). Bu yöntem oldukça zor ve sınırlıdır. Aynı zamanda çok sayıda mutantın üretilmesi ve taranması sonucunda etkin fenotiplerin oluşturulması zordur. Bu tür zaman alıcı, zahmetli, hedeflenmemiş ıslah programlarında, seçim verimliliğini artırmak amacıyla markör destekli ıslah yaklaşımları benimsenmiş olsa da artan mahsul üretimi taleplerine yetersiz kalmaktadır (Wolter ve ark., 2017). Gen aktarım yöntemleri kullanılarak, ekzojen genlerin elit çeşitlerine aktarılmasıyla istenen özelliklerin elde edilmesi üreme izolasyonunun sınırlarını kırmış, ancak genetiği değiştirilmiş mahsullerin ticarileştirilmesi, uzun ve maliyetli işlemlerin yanı sıra kamuoyunun endişeleriyle karşılaşmıştır. 2013 yılında üç bağımsız grup, pirinç (*Oryza sativa*), buğday (*Triticum aestivum*), *Nicotiana benthamiana* ve *Arabidopsis thaliana*'da kullanım için CRISPR (kümelenmiş düzenli aralıklarla kısa palindromik tekrar) sistemini kurdular. Tarihte ilk kez, bitki yetiştiricileri, tarımsal ürünlerin hızlı bir şekilde iyileştirilmesi için oyunun kurallarını değiştiren bir kaynak sağlayan, hedeflenen dizi varyasyonunun spesifik girişini kontrol etme yeteneğine sahip

olmuşlardır. O zamandan beri, CRISPR/Cas9 sürekli iyileştirmeler gösteren, genom düzenlemeyi yaygın olarak benimseten bir sistem haline gelmiştir.

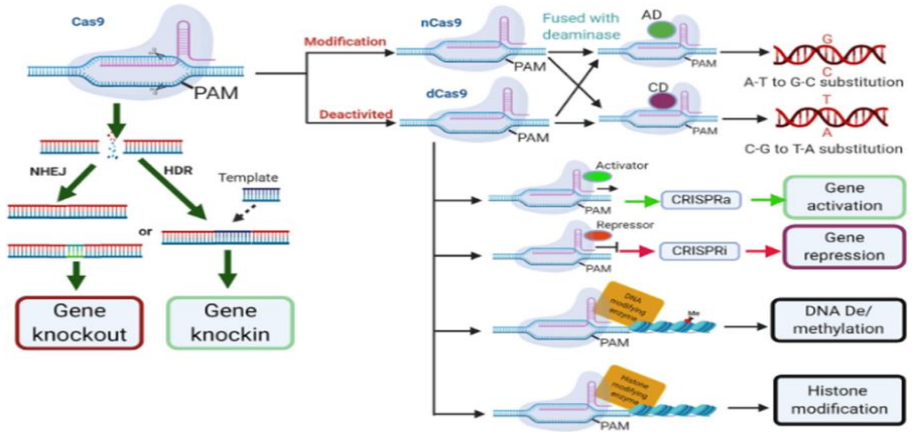
2. CRISPR/Cas TEKNOLOJİSİNİN UYGULAMA ALANLARI

Mikroorganizmalarda bulunan CRISPR sistemi, rehber bir Cas9 proteini ve crRNA ve tracrRNA olmak üzere iki CRISPR/RNA'sından oluşmaktadır (Bortesi ve ark., 2015). Bu durumdan yola çıkılarak CRISPR teknolojisi için Cas9 olarak adlandırılan DNA endonükleaz ve hedef bölge için tasarlanan 20 nükleotidlik bir RNA dizisinin yeterli olduğu ortaya çıkmıştır. Bu iki elemanın DNA'daki hedeflenen bölgeye bağlanmasıyla bir protein, RNA ve genomik DNA kompleksi oluşturularak bu bölgede çift iplik kırılmaları meydana gelmektedir. Hedef bölgenin tanınması ve Cas9/sgRNA tarafından DNA üzerinde kesim yapılabilmesi için gerekli olan hedef bölge üzerinde bulunan 3' ucunda PAM olarak adlandırılan bir NGG sekansının bulunması gerekmektedir (Akbudak ve Kontbay, 2017). CRISPR/Cas9 teknolojisi birçok bitki genomu kullanılarak istenilen özelliklere göre modifiye edilmiştir. Çeltik, buğday, hıyar, domates, patates, asma, elma, limon, kavak, şeker portakalı, soya fasulyesi, keten, tütün ve yonca gibi önemli tarım ürünleri CRISPR teknolojisinin uygulandığı bitkilerden bazılarıdır. Karşılaşılan problemlere göre bu teknolojinin uygulama alanları oldukça genişlemiştir. Örneğin, son yıllarda polen oluşumundan sorumlu genlerin tanımlanması amacıyla CRISPR/Cas9 genom düzenleme sistemini başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Polen oluşumu ile ilişki genler susturularak erkek kısır hatlar elde

edilmektedir (Zhou ve ark., 2016). Ayrıca, birçok bitkide hastalıklara dayanıklılığı sağlamak için CRISPR/cas9 sistemi kullanılmakta ve başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Domateste belirlenen 16 Mlo geni ve küllenmeye karşı duyarlılıkta görev alan SIMlo1 geni belirlenerek (Zheng ve ark., 2016) CRISPR/cas9 teknolojisi ile iki sgRNA kullanılarak bu gen üzerinde bulunan iki farklı noktada 48 bp (baz çifti)'lik bir delesyon oluşturulmuştur. Oluşan yeni çeşitlere “Tomelo” adı verilmiş ve *Oidium neolycopersici*'ye karşı oldukça dayanıklı olduğu belirlenmiştir (Nekrasov ve ark., 2017). Pan ve ark., 2016 tarafından, *Solanum tuberosum*'da patojenlere karşı dayanıklılığın geliştirilmesi için yapılan araştırmada ALS (Acetolactate Synthase1) geninde CRISPR/Cas9 teknolojisi kullanılarak meydana gelen mutasyonla bu patojene karşı dayanıklılığın oluşması hedeflenmiştir. Diğer bir çalışmada, Kardonnay üzüm çeşidinde tartarik asit biyosentezinin değiştirilmesi amaçlanarak mutasyon oluşturulmuş ve bitkilerde sekonder metabolit üretimi artırılmaya çalışılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, CRISPR/Cas9 sistemi ile tartarik asit üretimi sırasında regülatif fonksiyona sahip IdnDH (Lidonate dehydrogenase gene, IdnDH) geninde mutasyon oluşturulmuş ve mutasyon sonucu bitkilerde tartarik asit miktarının arttığı belirlenmiştir (Ren ve ark., 2016).

Günümüzde, CRISPR/Cas tabanlı baz düzenleme bu teknolojinin en önemli ilerlemelerinden ve uygulamalarından biri haline gelmiştir. Araştırmacılar, spesifik bir DNA bazını değiştirmek için cas9 proteinini bir baz dönüşüm enzimi ile birleştirmişlerdir. Son zamanlarda kullanılan iki tane baz dönüştürücü enzim vardır, biri sitidin deaminaz

(CD) ve diğeri adenin deaminazdır (AD). CD, nükleotid değişimini C'den U'ya dönüştürür ve daha sonra C-G'den T-A'ya değişimi sağlamak için T haline gelir. AD, nükleotid değişimini A'dan I'ye dönüştürür ve daha sonra A-T'den G-C'ye son değişimi elde etmek için G haline gelir. Sitidin deaminaz tabanlı baz düzenleme (CBE), buğday başta olmak üzere birçok tarım ürünü ve bitki türünde kullanılmıştır (Xu ve ark., 2019). CBE ayrıca herbisite dayanıklı bitkilerin elde edilmesinde de kullanılmaktadır (Shimatani ve ark., 2018). Ayrıca CRISPR/Cas9 baz düzenleme, anlamlı kodu anlamsız koda değiştirerek nakavt mutantları oluşturmak için de önemli bir kullanım alanına sahiptir (Şekil 2) (Zhang ve ark., 2020).



Şekil 2. CRISPR/Cas genom düzenlemesinin gen fonksiyonel çalışmasında uygulanması. CRISPR/Cas sistemi, gen fonksiyonel çalışmalarında çeşitli uygulamalara sahiptir. DNA çift zincir kırık (DSB) onarım mekanizmasına dayanan CRISPR, bir çift nükleotidin eklenmesi veya silinmesi ve homolog olmayan uç birleştirme (EHEJ) ile onarılması yoluyla doğrudan gen nakavtına (susturma) neden olabilir. Fakat, bir DNA donörü ile homolog yönlendirmeli onarım (HDR) gerçekleştiyse, CRISPR/Cas genom düzenleme aracı, istenmeyen bir gen değişimine, aşırı ekspresyonuna (knockin) ve tek bir genin aktarımı için kullanılabilir. Ayrıca Cas9 enzimi, transkripsiyon efektörü veya dCas9 ile birleştirilmiş diğer enzimler ile devre dışı bırakılırsa, CRISPR/Cas sistemi düzenleme, epigenom düzenleme ve görüntülemeye kullanılabilir (Zhang ve ark., 2020).

SONUÇ

Yapılan çalışmalar sonrasında yüksek ürün verimi ve streslere karşı dayanıklı olan yeni bitki adaylarının nicel, nesnel ve otomatik tarama yöntemleri ile hızlı taranmasını sağlayan teknolojiler ve yeni moleküler araçlar bitki biyoteknolojisi için ana hedefler olarak ortaya çıkmaktadır. Transgen teknolojisi kadar etkin olan bu uygulamalarda, yeni oluşturulan bitki çeşitlerinde yabancı gen bulunmamaktadır ve yeni oluşturulan çeşitler transgenik olarak kabul edilmemektedir. Yeni nesil genom düzenleme çalışmaları ile elde edilen bitki çeşitlerinin kabulü kapsamında, genom düzenleme teknolojisi ile ortaya çıkan ürünlerle geleneksel transgenik çeşitler arasındaki sınırın net olarak ortaya konması ve karşılaşılabilecek önyargılara karşı gerekli düzenlemelerin yapılması gerekmektedir. İklim değişikliği etkilerinin yanısıra artan nüfus ve gıda ihtiyacı, CRISPR sisteminin gelecekte daha da popülerlik kazanarak beslenmede kullanılan önemli bitki çeşitlerinin geliştirilmesinde yaygın kullanıma sahip olacağı kaçınılmaz görülmektedir.

KAYNAKÇA

- Akbudak, M.A., Kontbay, K. (2017). Yeni Nesil Genom Düzenleme Teknikleri: ZFN, TALEN, CRISPR'lar ve Bitkilerde Kullanımı. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 26 (1):111-126.
- Bortesi, L., Fischer, R. (2015). The CRISPR/Cas9 system for plant genome editing and beyond. *Biotechnology Advances*, 33(1):41-52.
- Chen, K., et al. (2019). CRISPR/Cas Genome Editing and Precision Plant Breeding in Agriculture. *Annu. Rev. Plant Biol.* 70:28.1–28.31.
- Feng, Z., et al. (2013). Efficient genome editing in plants using a CRISPR/Cas system. *Cell research*, 23(10), 1229-1232.
- Gaj, T., et al. (2013). ZFN, TALEN, and CRISPR/Cas-based methods for genome engineering. *Trends in biotechnology*, 31(7), 397-405.
- Hsu, P. D., et al. (2013). DNA targeting specificity of RNA-guided Cas9 nucleases. *Nature biotechnology*, 31(9), 827-832.
- Jaganathan, D., Ramasamy, K., Sellamuthu, G., Jayabalan, S., and Venkataraman, G. 2018. CRISPR for crop improvement: an update review. *Frontiers in plant science*, 9, 985.
- Li, R., et al. (2018). Reduction of tomato-plant chilling tolerance by CRISPR–Cas9 mediated SICBF1 mutagenesis. *Journal of agricultural and food chemistry*, 66(34), 9042-9051.
- Nekrasov, V., et al. (2013). Targeted mutagenesis in the model plant *Nicotiana benthamiana* using Cas9 RNA-guided endonuclease. *Nature biotechnology*, 31(8), 691-693.
- Nekrasov, V., et al. (2017). Rapid generation of a transgene-free powdery mildew resistant tomato by genome deletion. *Scientific reports*, 7(1), 1-6.
- Pacher, M., and Puchta, H. (2017). From classical mutagenesis to nuclease-based breeding directing natural DNA repair for a natural end-product. *The Plant Journal*, 90(4), 819-833.

- Pan, C., Ye, L., Qin, L., Liu, X., He, Y.J., Wang, J., Chen, L., Lua, G. (2016). CRISPR/Cas9- mediated efficient and heritable targeted mutagenesis in tomato plants in the first and later generations. *Scientific Reports* 6:24765.
- Ren, C., Liu, X.J., Zhang Z., Wang, Y., Duan, W., Li, S.H., Liang, Z. (2016). CRISPR/Cas9- mediated efficient targeted mutagenesis in Chardonnay (*Vitis vinifera* L.). *Scientific Reports* 6:32289.
- Shimatani, Z., et al. (2018). Herbicide tolerance-assisted multiplex targeted nucleotide substitution in rice. *Data in brief*, 20, 1325-1331.
- Soysal, S. ve Yılmaz, A. (2021) Mikorizal Fungusların (MF) Tarla Bitkilerinde Kullanımı. G. Bengisu (Ed) Akademik Perspektiften Tarım'a Bakış (173-192. ss.). Adıyaman; Turkey: İKSAD. <https://iksadyayinevi.com/home/akademik-perspektiften-tarima-bakis/>
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., Befort, B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the national academy of sciences*, 108(50), 20260-20264.
- Wolter, F., Puchta, H. (2017). Knocking out consumer concerns and regulator's rules: efficient use of CRISPR/Cas ribonucleoprotein complexes for genome editing in cereals. *Genome biology*, 18(1), 1-3.
- Xu, W., et al. (2019). Multiplex nucleotide editing by high-fidelity Cas9 variants with improved efficiency in rice. *BMC plant biology*, 19(1), 1-10.
- Xu, X., et al. (2020). CRISPR/Cas derivatives as novel gene modulating tools: possibilities and in vivo applications. *International journal of molecular sciences*, 21(9), 3038.
- Yılmaz, A., ve Çiftçi, V. (2021) Pütresin'in Tuz Stresi Altında Yetişen Yer Fıstığı (*Arachis hypogaea* L.)'na Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 562-567.
- Yılmaz, A., Soysal, S., Emiralioğlu, O., Yılmaz, H., Soydemir, H. E. ve Çiftçi, V. (2021) Sürdürülebilir Tarımda Anıza Ekimin Önemi. M.F. Baran, K. Bellitürk ve A. Çelik (Ed) Türkiye'de Sürdürülebilir Tarım Uygulamaları: Zorluklar ve Potansiyeller (221-230. ss.). Adıyaman; Turkey: İKSAD.

<https://iksadyayinevi.com/home/turkiyede-surdurulebilir-tarim-uygulamalari-zorluklar-ve-potansiyeller/>

Zhang, D., et al. (2020). CRISPR/Cas: a powerful tool for gene function study and crop improvement. *Journal of Advanced Research*. *Journal of Advanced Research* 29 :207–221.

Zheng, Z., et al. (2016). Genome-wide study of the tomato SIMLO gene family and its functional characterization in response to the powdery mildew fungus *Oidium neolycopersici*. *Frontiers in plant science*, 7, 380.

Zhou, H., et al. (2016). Development of commercial thermo-sensitive genic male sterile rice accelerates hybrid rice breeding using the CRISPR/Cas9-mediated TMS5 editing system. *Scientific reports*, 6(1), 1-12.

BÖLÜM 7

BİYOREMEDİASYON ÇALIŞMALARINDA BİTKİ GELİŞİMİNİ TEŞVİK EDEN KÖK BAKTERİLERİNİN ROLÜ

Öğr. Gör. Dr. Sipan SOYSAL^{1*}

Prof. Dr. Murat ERMAN²

Doç. Dr. Fatih ÇİĞ³

^{1*} Siirt Üniversitesi, Kurtalan Meslek Yüksek Okulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Siirt, Türkiye. sipansoyal@siirt.edu.tr

² Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt, Türkiye. muraterman@siirt.edu.tr

³ Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt, Türkiye. fatih@siirt.edu.tr

GİRİŞ

Dünya çapında yaşanan iklim değişiklikleri bitkilerin verimlerini azaltmakta ve bu nedenle gıda güvenliği problemleri ile karşılaşmaktadır (Yılmaz ve Çiftçi, 2021). Ekonomik yapısı tarıma entegre olan ülkelerde gıda taleplerinin karşılanması adına bitkilerde birim alandan elde edilen ürün miktarı oldukça önemlidir (Soysal ve Yılmaz, 2021). Tarım sektörüne daha profesyonel olarak yaklaşmak artan dünya nüfusunun zorunluluklarındandır (Yılmaz ve Soysal 2021). Sürdürülebilir tarım ekonomik olarak sağlanacaksa modern tarım uygulamaları hayata geçirilmeli ve tarımsal yönetim ve üretim modelleri değişim göstermelidir (Yılmaz ve ark., 2021).

Biyoremediasyon, çeşitli mikroorganizmaların tehlikeli olan maddeleri zararsız ve az zararlı maddelere parçalamak amacıyla meydana gelen çevre ve doğa dostu bir yöntemdir (Dua, 2002). Doğal olarak meydana gelen bir proses olarak bilinen biyoremediasyon, mikroorganizmaların çevresel kirlilikleri dönüşüme uğratarak son ürün durumuna getirmeleri sürecidir (Dindar ve ark., 2010).

Hızlı ve plansız kentleşme, sanayileşme ve artan trafik sorunları ile birlikte arazi kullanımında yapılan yanlış uygulamalar, gerekli önlemler alınmadan işletilen madenler, artan pestisit ve kimyasal gübre uygulamaları sonucunda toprak erozyonu vb. gibi sorunlar dünyada ve ülkemizde çevresel sorunların artmasına sebep olmaktadır. Tarım alanlarında yanlış gübre uygulamaları (gübre çeşidi, gübre miktarı ve gübreleme zamanı vb.), bilinçsizce pestisit kullanımı, maden ocaklarındaki ağır metal içeren işletmelerin atıklarının atılmadan

çevreye bırakılması sonucunda doğal denge kaybolmakta, toprak ve su kaynakları kirletilmektedir (Akıncı ve ark., 2016; Altınok ve ark., 2019; Kaçar ve Koca 2020).

Kısacası su ve toprağın toksik metallerle kirlenmesi, yalnızca toprak verimliliği ve su kalitesi için değil, aynı zamanda tarımsal üretim ve insan sağlığı için de ekosistem için önemli bir zehirlilik tehdidi oluşturmaktadır. Ağır metallerden kaynaklanan yaygın kirlilik, esas olarak hızlı kentleşme, sanayileşme ve madencilik, endüstriyel üretim, belediye kanalizasyonu, sulama ve mantar ilaçları ve herbisitlerin aşırı kullanımı dahil yoğun tarımın bir sonucudur (Glick, 2015).

Bununla birlikte dünyada ve ülkemizdeki nüfusun her geçen gün hızlı bir şekilde artış göstermesine bağlı olarak artan enerji ve gıda kullanımı, barınma ihtiyaçları, otomotiv endüstrisinin gelişimi gibi etkenler sanayi devrimine hız kazandırmıştır. Fakat bu hız, dolaylı ve/veya direkt olarak çevre kirliliğine neden olan çok yüksek miktarda organik ve inorganik kimyasallarına üretimine neden olmuştur (Vural ve ark., 2018). Organik ve inorganik kimyasallar sebebiyle toprak ve çevresel kirliliği oluşmakta ve bunun sebebinin ise endüstriyel aktivitelerden kaynaklandığı bilinmektedir. Kirlenmiş su ve toprakların temizlenerek kirlilik sorununun çözülmesi gerekmektedir.

As, Cd, Cu, Pb ve Zn gibi ağır metallerin insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri, art arda yaygın zehirlenme sonucu dikkat çekmiştir (Bolan ve ark., 2014). Daha yakın zamanlarda, bir dizi ülkede ağır metal kirliliği vaka çalışmaları sıklıkla rapor edilmiştir. Örneğin, Hindistan ve Bangladeş'te pirincin başlıca arsenik kontaminasyonu kaynaklarından

biri olduğu ve 100 milyondan fazla insanın potansiyel olarak arsenik zehirlenmesi riski altında olduğu bildirilmiştir (Bhattacharya ve ark., 2012). Bolan ve ark., (2014) Yeni Zelanda'da otlayan hayvanların böbreklerinde Cd birikimi olduğunu vurgulanmışlardır. Benzer şekilde, Hindistan'dan hayvanlarda toksik seviyelerde ağır metallerin varlığı, özellikle et olarak kullanılan kas ve diğer dokularda, ciddi ekonomik kayıplar ve potansiyel insan toksisitesi olduğu rapor edilmiştir (Rajaganapathy ve ark., 2011).

1. BİYOREMEDIASYON TEKNİKLERİ

Biyoremediasyon tekniklerinin en önemli özelliği, değişik mikroorganizmaları bulduran ve temiz olmayan açık alanlarda yapılmasıdır (Sivakumar ve ark., 2012; Huang ve ark., 2013). Bu teknikler, uzaktan (ex-situ) biyoremediasyon tekniği (Boopathy, 2000; de Lorenzo, 2008; Lemming ve ark., 2009), yerinde (in-situ) biyoremediasyon tekniği ve kombine biyoremediasyon tekniği olmak üzere 3 ana başlıkta incelenmektedir (Shukla ve ark., 2010).

1.1. Yerinde (in-situ) Biyoremediasyon Tekniği

Yerinde biyoremediasyon yöntemi bulaşık bölgelerin temizlenmesi için kullanılan en iyi yöntemdir. Sebebi ise nakil ücreti gerektirmeyen, sahada yapılan, toprağı kazmaya ve taşımaya gerek duyulmayan, kimyasal kirleticilerin arındırması için doğal olan mikroorganizmaların kullanılmasıdır. Fakat in-situ yöntemi her zaman iyi bir sonuç vermeyebilir. Bu yöntemin etkili olduğu topraklar genellikle gübreleme ve mikroorganizmaların hızlı bir şekilde yayılmasına izin veren

alanlardır (Vural ve ark., 2018). Aşırı taşlı, killi topraklarda ve kirliliği yüzey sularında in-situ tekniklerine uygun olmamakla birlikte bu teknik kimyasal kirlenmelerde uzun yıllar alabilir (Wu ve ark. 2014). Yerinde biyoremediasyon (in-situ) teknikleri genellikle dizel yakıt, boyalar, ağır metaller ve yarı uçucu organiklerin giderilmesinde uygulanmaktadır (Dindar ve ark., 2010).

1.2. Uzaktan (ex -situ) Biyoremediasyon Tekniği

Uzaktan biyoremediasyon tekniği arazi kompostlama (Peng ve ark., 2013), Biopiles (Biyo-yığın) ve arazi düzeltmeleri (Antizar-Ladislao, 2008) kapsamaktadır. Bu yöntem biyoremediasyon bölgesine kirliliği toprakların taşınması gerekmektedir (Zeyaulah ve ark. 2009). Uzaktan biyoremediasyon tekniği, yerinde biyoremediasyon tekniğine göre daha hızlı, kontrollü, kolay ve daha geniş bir kirliliği ve toprak tiplerinde kullanılmasından dolayı daha avantajlı olmaktadır. Uzaktan biyoremediasyon tekniği ekonomik yönden ise yerinde biyoremediasyon tekniğine göre dezavantajlı olmaktadır. Bunu sebebi ise kazı yapıldığı için toprağın taşınması söz konusu olduğundan kaynaklanmaktadır (Shukla ve ark. 2010). Ex-situ tekniği uygulanırken toprak kirliliğinin türü, derecesi ve alanın jeopolitik konumu göz önünde bulundurulması gereken oldukça önemli faktörler arasındadır (Vural ve ark., 2018).

1.3. Kombine Biyoremediasyon Tekniği

Hastane atıkları, arıtma çamurlarının döküldüğü alanlar, Hastane atıkları ve Tehlikeli atık alanları gibi atıklar için önerilen bir tekniktir.

Kolay bozulmayan, organik bileşik karışımlarını içeren bu tehlikeli atıklar, yalnızca kombine biyoremediasyon yöntemiyle temizlenir (Alexander 1999; Ceyhan ve Esmeray 2012).

2. PGPR'IN (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) BİYOREMEDİASYONDAKİ ROLÜ

Rizosferde yüksek seviyede bakteri aktivitesini teşvik eden bitki köküne bitişik toprak bölgesi denilmektedir (Hiltner, 1904). Bitki kökleri rizosferde biyolojik kontrol aktivitesini ve bitki büyümesini arttırıcı güce sahip çeşitli rizobakteriyel türleri bünyesinde bulundurmaktadır. Mikroorganizmalar ve bitki kökleri ve arasında bulunan etkileşimler sayesinde kültür bitkilerinin verimleri etkilenmektedir. Bu süreç zarfında aktif bir şekilde rol oynayan rizobakteriler PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) olarak adlandırılmaktadır (Kumari ve ark., 2019) PGPR'ler ilk olarak Kloepper ve Schroth, (1978) tarafından tohumlara aşılınmış olup, bitki kökleri ile kolonize olup bitki büyümesini ve verimini olumlu yönde arttırmıştır. PGPR 'ler ayrıca rizosfer bölgesindeki bitki besin maddelerin kullanılabilirliğini arttırmanın yanında bitkilerin besin emilimini ve kök hacminide arttırmaktadırlar (Meraklı ve Memon, 2020). Antoun ve Prevost (2005) yaptıkları çalışmada bitkilerin rizosferinde yaşayan bakterilerin, bitki büyümesine %2-5 oranında arttırdığı sonucuna varmışlardır.

PGPR'ler direkt ve indirekt mekanizma olarak bitki büyümesini arttırmaktadır (Hassan ve ark., 2019). Direkt olarak azot fiksasyonu bitkilerde fosfat çözdürme, bitki büyümesini teşvik etmek ve

fitohormon üretiminde kullanılan demir kullanılabilirliğini arttırmaktadır. İndirekt etkimekanizması ise patojenleri ortadan kaldırmayı içermektedir (Meraklı ve Memon, 2020). Birçok araştırmacılar tarafından bu tür mikroorganizmaların; bitkilerin verimliliğini ve tarımsal üretimin geliştirilmesinde (Buğday, arpa, mercimek, mısır, soya, domates vb.) çalışmalar yapılarak bitki-PGPR ilişkilerinin günümüzde ticari olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir (Gray ve Smith, 2005). Bu sebepten dolayı PGPR'ler sürdürülebilir tarım açısından önemli bir konuma sahiptir. Kök kısmını çevreleyen rizosferik olan toprak bakterileri, besin maddeleri alınımı için rekabet ederek bitkilerin gelişimini, verimini ya serbest yaşayan mikroorganizmalar ya da bitki kökleri ile karşılıklı ilişki içinde (endofitik/epifitik) etki göstermektedir (Vejan ve ark., 2016). Endofitik/Epifitik bakteriler tohumların kuraklık stresinde çimlenmesi ve biyoremediasyon teknikleri açısından etkili olduğu, bitki hastalıklarını azaltmak, tuz stresi, ağır metallerin toksisitesine karşı bitkilerin dirençlerini arttırmaktadır (Kumari ve ark., 2019).

Rizosferde (Bitki kök bölgesinde) yaşayan bitki gelişimini teşvik eden bakteri türleri (*Acetobacter*, *Acinetobacter*, *Agrobacterium*, *Arthrobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Azoarcus*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Beijerinckia*, *Burkholderia*, *Derrxia*, *Enterobacter*, *Gluconacetobacter*, *Herbaspirillum*, *Klebsiella*, *Ochrobacter*, *Pantoea*, *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, *Serratia*, *Stenotrophomonas* ve *Zoogloe*) ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır (Babalola, 2010; Disi ve ark., 2019).

3. PGPR İLE (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) BİYOREMEDİASYON ÇALIŞMALARI

Özbucak ve ark. (2018)'nin Ordu ili sınırları içerisinde Kabadüz ilçesinde bulunan Cu, Pb ve Zn bulunduğu topraklardan izole edilen bakterilerin, ağır metallerin biyoremediasyonunda kullanılabilme yeteneği araştırılmıştır. Steril şekilde alınan örnekler ile 7 farklı bakteri izolatu elde edilmiştir. Çalışmada elde edilen 7 çeşit bakterilerden ağır metal absorbe edebilen *Pseudomonas luteola*, *Paenibacillus polymyxa* ve *Pseudomonas stutzeri* türleri kültür yapılarak çoğaltılmıştır. Çalışmada Cu, Pb, Zn ile organik madde ve pH değişimleri araştırılmış ve sonucunda topraktaki metal miktarı yüksekten düşüğe doğru Pb, Zn ve Cu olarak belirlenmiştir. Ortama eklenen bakteri ve bakterilerin ağır metallerde, Ph ve organik madde'de kontörle göre arttığı ve azalttığı belirlenmiştir. Oualha et al. (2019), yerli bakteri suşlarının optimizasyonunun kullanıldığı çalışmada en yüksek biyodegradasyon verimlilik oranının *Bacillus sonorensis* D1 bakterisinin önemli bir rol oynadığını belirlemişlerdir.

Kurt (2019), su mercimeği bitkilerinin (*Lemna minor* L. ve *Lemna gibba* L.) laboratuvar koşulları altında ağır metallere karşı streslerinin belirlenmesi amacıyla uygun besi yerleri hazırlanarak yetiştirmiş ve yaklaşık olarak 0,1-1000 mg/L (ppm)'lik değişimlerde Kobalt, Vanadyum, Kalay ve Antimon içeren besi yerleri hazırlamıştır. Sonuç olarak *Lemna gibba* L. su mercimeğinin kirtli suların indikatör türü olması nedeniyle kirli sularda biyoremediasyon yeteneğine sahip olduğunu belirlemiştir.

Dört adet bitki büyümesini teşvik eden rizobakterinin etkilerini değerlendirmek için yapılan bir deneyde tuzlu topraktan izole edilen *Pseudomonasputida*, *Bacillus pumilus*, *Lysinibacillus sphaericus* ve *Exiguobacterium aurantiacum*, tuzlu-sodik alanda yetiştirilen mısır bitkisinde (*Zea mays* L.) temel besin maddelerinin ve ağır metallerin alımı, birikimi ve yer değiştirmesi üzerine izole edilmiştir. PGPR, *Pseudomonas putida* ile aşılansmış mısırın rizosferde Cd ve Ni içeriklerinde önemli düşüşler ile birlikte Na, K, Ca, Fe ve Zn'de önemli artışlar göstermiştir. Çalışmada PGPR, rizosfer toprağında Fe ve Zn'nin mevcudiyetini, köklerde alımlarını ve yapraklara ve taneye yer değiştirmelerini arttırmıştır. *Bacillus pumilus* ve *Pseudomonas putida* aşılı bitkilerin tanelerinde Cd, Ni ve Pb birikimini etkili bir şekilde azaltırken, Ni, Pb, Cr ve Cd birikimini yaprak ve tanelerde daha etkili bir şekilde azaltmıştır. *Pseudomonas putida*, Cr'nin biyolojik birikim katsayısını, Cr, Cd ve Ni için biyolojik konsantrasyon faktörünü artırmış, ancak Pb için yer değiştirme faktörünü artırmıştır. *Bacillus pumilus* ise Cd ve Pb için TF (Traslocation Factor; yer değiştirme faktörü)'yi geliştirmiştir. *Bacillus pumilus* aşılansmış bitkilerde Na ve K önemli ölçüde daha düşük bulunmuş, ancak C'ye göre daha yüksek Ca, Fe ve Zn'ye sahip olmuştur. Çalışma sonucunda *Pseudomonas putida* ve *Bacillus pumilus*'in ağır metallerin biyolojik olarak iyileştirilmesinde ve yapraklarda ve tahılda artan Zn ve Fe birikiminde rol oynayabileceği bildirilmiştir (Asadullah ve Javed, 2021).

Pandey ve ark. (2013)'nın yürüttüğü bir çalışmada, üç farklı bakteri izolatının konukçu bitki olarak çeltik bitkisine uygulanmasıyla metal

toksisitesini iyileştiren ve büyümeyi teşvik eden yetenekleri tespit edilmiştir. Çalışmada üç bakteri suşu, kadmiyuma dirençli *Ochrobactrum* sp., kurşuna dirençli *Bacillus* sp. ve arsenik dirençli *Bacillus* sp.'den oluşmaktaydı. Bu izolatlar Satabdi çeşidinin metalle işlenmiş çeltik bitkilerine uygulandığında, çimlenme yüzdesi, bağıl kök uzaması (RRE), amilaz ve proteaz aktiviteleri artmıştır. Bu bakterilerin varlığında metalin toksik etkisi azalmıştır. Genel biyokütle ve kök/vücut oranı da bakteriyel aşılama ile geliştirilmiştir. Hidroponik çalışmalar, çeltik köklerinde metal stresi varlığında artan süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesinin ve malondialdehit (MDA) seviyesinin bakteri inokulasyonu ile düştüğünü göstermiştir. Çalışmadan elde edilen veriler, bu bakterilerin bitki büyümesinin teşviki kadar biyoremediasyon için de umut vaat ettiğini göstermiştir.

Ağır metal alımında *Pseudomonas* biyofilmleri ile uygulama yapılan bir çalışmada izolatların metal toksisitesine dayanıp dayanamayacağı araştırılmış ve aynı zamanda ağır metaller ile biyofilm oluşumu arasındaki etkileşim değerlendirilmiştir. Kontrol deneyleriyle karşılaştırıldığında, tüm suşların, çinko ve kurşun varlığına bağlı olarak "neredeyse görünmez bir filmde" kâğıt kalınlığında bir yapıya kadar değişen kalınlıkta yağlı görünümlü bir biyofilm ürettiği tespit edilmiştir. Bulgular, stres koşulları altında biyofilmlerin sağlamlığının ve artan ağır metal konsantrasyonları ile stresli ortamlarda uygun bir niş sürdürme potansiyellerinin altını çizmektedir (Meliani ve Bensoltane, 2016).

SONUÇ

Bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler (PGPR), bitki köklerini kolonize ederek bitki büyümesini desteklemektedir. Uzun bir süre boyunca PGPR esas olarak bitkilerin çevreden besin almasına yardımcı olmak veya bitki hastalıklarını önlemek için kullanılmıştır.

Mevcut tüm çevre kirleticileri arasında, organik ve ağır metal kirleticilerin derin etkileri dünya çapında giderek daha çok dikkat çekmektedir. Bioremediasyon, çevredeki kirleticileri ortadan kaldırmak için oldukça yeni ve gelecek vaat eden bir yaklaşımdır. İyileştirme için bitkileri tek başına kullanmak çeşitli sınırlamaları da beraberinde getirmektedir. PGPR uygulaması, bitkilerle birlikte kirlenmiş toprakları iyileştirmek için son zamanlar da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. PGPR uygulamaları bitkilerin kirleticilere karşı toleransını artırabilmektedir. Günümüzde yürütülen birçok deney ile kirlenmiş toprakların iyileştirilmesi için PGPR uygulamaları popüler hale gelmiştir.

KAYNAKÇA

- Akıncı Y. C., Yüksek T., Demirel, Ö. (2016). Ağır metaller ile kirlenmiş toprağın iyileştirilmesinde Vetiver grass (*Vetiveria zizanioides* (Linn.) Nash) ve solucanların kullanılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Mimarlık Bilimleri ve Uygulamaları Dergisi, 1(1):1-11.
- Alexander M (1999). Biodegradation and bioremediation second edition, Academic Press New York.
- Altınok, H. H., Altınok, M. A., Koca, A. S. (2019). Modes of action of entomopathogenic fungi. *Curr. Trends Nat. Sci*, 8(16), 117-124.
- Antizar-Ladislao B, Spanova K, Beck AJ, Russell NJ (2008). Microbial community structure changes during bioremediation of PAHs in an aged coal-tar contaminated soil by in-vessel composting. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 61(4), 357-364.
- Antoun H ve Prevost D. 2005. Ecology of plant growth promoting rhizobacteria. In: Siddiqui ZA (ed) PGPR: biocontrol and biofertilization. Springer, Netherlands, pp: 1–38.
- Asadullah, A. B., Javed, H. (2021). PGPR assisted bioremediation of heavy metals and nutrient accumulation in zea mays under saline sodic soil. *Pak. J. Bot*, 53(1), 31-38.
- Babalola OO. 2010. Beneficial bacteria of agricultural importance. *Biotechnol Lett*, 32(11): 1559–1570. doi: 10.1007/s10529-010-0347-0.
- Bhattacharya, S., Gupta, K., Debnath, S., Ghosh, U. C., Chattopadhyay, D., & Mukhopadhyay, A. (2012). Arsenic bioaccumulation in rice and edible plants and subsequent transmission through food chain in Bengal basin: A review of the perspectives for environmental health. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 94(3), 1–13.
- Bolan, N., Kunhikrishnan, A., Thangarajan, R., Kumpiene, J., Park, J., Makino, T., et al. (2014). Remediation of heavy metal(loid)s contaminated soils—To mobilize or to immobilize? *Journal of Hazardous Materials*, 266(4), 141–166.
- Boopathy R (2000). Factors limiting bioremediation Technologies. *Bioresource Technology*, 74: 63-67.

- Ceyhan N, Esmeray E (2012). Petrol kirliliği ve biyoremediasyon. *Türk Bilimsel Derleme Dergisi*, 5(1), 95-101.
- de Lorenzo V (2008). Systems biology approaches to bioremediation. *Curr. Opin. Biotechnol.* 19, 579–589.
- Dindar, E., Topaç, Şağban, F., O., Başkaya, H., S., 2010. Kirlenmiş Toprakların Biyoremediasyon ile Islahı. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 15(2):123-137.
- Disi JO, Mohammad HK., Lawrence K, Kloepper J, Fadamiro HA. 2019. soil bacterium can shape belowground interactions between maize, herbivores and entomopathogenic nematodes. *Plant Soil*, 437:83–92.
- Dua, M., Singh, A, Sethunathan, N., Johri, A.K., (2002). Biotechnology and Bioremediation: Successes and Limitations. *Appl. Microbiol.* 63:329-331.
- Glick B.R. (2015) Biocontrol mechanisms beneficial plant-bacterial interactions. Springer, Berlin, pp 123–157.
- Gray EJ, Smith DL. 2005. Intracellular and extracellular PGPR: commonalities and distinctions in the plant bacterium signaling processes. *Soil Biology and Biochemistry.* 37(3): 395–412. doi: 10.1016/j.soilbio.2004.08.030.
- Hassan MK, McInroy JA, Kloepper JW. 2019. The Interactions of Rhizodeposits with Plant Growth-Promoting Rhizobacteria in the Rhizosphere: A Review. *Agriculture.* 9(7):142. doi:10.3390/agriculture9070142.
- Hiltner L. 1904. About new experiences and problems in the field of Bodenbakteriologie. *Works Ger Agric Soc* 98: 59–78.
- Huang Y, Zhang J, Zhu L (2013). Evaluation of the application potential of bentonites in phenanthrene bioremediation by characterizing the biofilm community. *Bioresour. Technol.* 134, 17–23.
- Kaçar, G., Koca, A. S. (2020). Bolu ili kiraz ve vişne bahçelerinde belirlenen zararlı ve faydalı türler. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 6(3), 435-443.
- Kloepper, J.W. and M.N. Schroth, 1978. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria in Radish. *Proceedings of the 4th International Conference of Plant Pathogenic Bacteria.* GilbertClarey, Tours, France. pp. 879–882.

- Kumari B, Mallick MA, Solanki MK, Solanki AC, Hora A, Guo W. 2019. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR): Modern Prospects for Sustainable Agriculture, R. A. Ansari, I. Mahmood (eds.), Plant Health Under Biotic Stress. pp: 109-127. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-13-6040-4_6.
- Kurt, B., (2019). Lemna minor L. ve Lemna gibba L. (su mercimeği) kullanılarak farklı derişimlerdeki bazı ağır metallerin (kalay, kobalt, antimon, vanadyum) biyoremediasyonu ve ağır metallerin olası stres etkilerinin belirlenmesi. Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 87s.
- Lemming G, Hauschild M, Bjerg P (2009). Life cycle assessment of soil and groundwater remediation technologies: Literature review. International journal of Life Cycle Assessment, 15(1), 115-127.
- Meliani, A., Bensoltane, A. (2016). Biofilm-mediated heavy metals bioremediation in PGPR Pseudomonas. *J Bioremediat Biodegrad*, 7(2).
- Meraklı, N., & Memon, A. (2020). Role of Plant Growth Promoting Bacteria (PGPR) in Plant Growth and Development: Soil-Plant Relationship. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 8(12), 2590-2602.
- Oualha, M., Al-Kaabi, N., Al-Ghouti, M., Zouari, N., 2019. Identification and overcome of limitations of weathered oil hydrocarbons bioremediation by an adapted Bacillus sorenensis strain. Journal of Environmental Management, 250, 109455.
- Özbucak, T., Ertürk, Ö., Akçin, Ö. E., Polat, G., Özbucak, S., 2018. Maden yataklarında bulunan bazı bakterilerin ağır metallerin biyoremediasyonunda kullanılabilme potansiyellerinin belirlenmesi. Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8(1), 114-124.
- Pandey, S., Ghosh, P. K., Ghosh, S., De, T. K., & Maiti, T. K. (2013). Role of heavy metal resistant Ochrobactrum sp. and Bacillus spp. strains in bioremediation of a rice cultivar and their PGPR like activities. *Journal of Microbiology*, 51(1), 11-17.
- Peng J, Zhang Y, Su J, Qiu Q, Jia Z, Zhu YG (2013). Bacterial communities predominant in the degradation of 13C4-4,5,9,10-pyrene during composting. *Bioresour. Technol.* 143, 608–614.

- Rajaganapathy, V., Xavier, F., Sreekumar, D., & Mandal, P. K. (2011). Heavy metal contamination in soil, water and fodder and their presence in livestock and products: A review. *Journal of Environmental Science and Technology*, 4(3), 234–249.
- Shukla KP, Singh NK, Sharma S (2010). Bioremediation: developments, current practices and perspectives. *Genet Eng Biotechnol J*, 3: 1-20.
- Sivakumar G, Xu J, Thompson RW, Yang Y, Randol-Smith P, Weathers PJ (2012). Integrated green algal technology for bioremediation and biofuel. *Bioresour. Technol.* 107, 1–9.
- Vejan P, Abdullah R, Khadiran T, Ismail S, Nasrulaq Boyce A. 2016. Role of plant growth promoting rhizobacteria in agricultural sustainability-A review. *Molecules*. 21(5): 573. doi:10.3390/molecules21050573.
- Vural, A., Demir, S., Boyno, G. (2018). Biyoremediasyon ve Fungusların Biyoremediasyonda Kullanılması. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi* 2018; 28: 490–501.
- Wu Y, Xia L, Yu Z, Shabbir S, Kerr PG (2014). In situ bioremediation of surface waters by periphytons. *Bioresource technology*, 151, 367-372.
- Yılmaz, A., ve Çiftçi, V. (2021) Pütresin'in Tuz Stresi Altında Yetişen Yer Fıstığı (*Arachis hypogaea* L.)'na Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 562-567.
- Soysal, S. ve Yılmaz, A. (2021) Mikorizal Fungusların (MF) Tarla Bitkilerinde Kullanımı. G. Bengisu (Ed) *Akademik Perspektiften Tarım'a Bakış* (173-192. ss.). Adıyaman; Turkey: İKSAD. <https://iksadyayinevi.com/home/akademik-perspektiften-tarima-bakis/>
- Yılmaz, A. ve Soysal, S. (2021) The Necessity of Autonomous Systems in Agriculture. A. Çelik, K. Bellitürk ve M.F. Baran (Ed) *Agricultural Researches Resourcebook* (301-322. ss.). Adıyaman; Turkey: İKSAD. <https://iksadyayinevi.com/home/agricultural-researches-resourcebook/>
- Zeyauallah M, Atif M, Islam B, Abdelkafe AS, Sultan P, ElSaady MA, Ali A (2009). Bioremediation: A tool for environmental cleaning. *African Journal of Microbiology Research*, 3(6), 310-314.

Yılmaz, A., Soysal, S., Emiraliolu, O., Yılmaz, H., Soydemir, H. E. ve Çiftçi, V. (2021) Sürdürülebilir Tarımda Anıza Ekimin Önemi. M.F. Baran, K. Bellitürk ve A. Çelik (Ed) Türkiye’de Sürdürülebilir Tarım Uygulamaları: Zorluklar ve Potansiyeller (221-230. ss.). Adıyaman; Turkey: İKSAD. <https://iksadyayinevi.com/home/turkiyede-surdurulebilir-tarim-uygulamalari-zorluklar-ve-potansiyeller/>

BÖLÜM 8

BAĞCILIKTA YENİ GELİŞMELER

Dr. Öğr. Üyesi Emrah GÜLER^{1*}

Prof. Dr. Turan KARADENİZ²

^{1*} Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Bolu, Türkiye. emrahguler@ibu.edu.tr

² Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Bolu, Türkiye. turan.karadeniz@ibu.edu.tr

GİRİŞ

Asma (*Vitaceae*), *Vitis* cinsi içerisinde, kuzey ılıman bölgenin yerlisi olan, taze tüketilebilen, kurutulabilen ve meyve suyundan şıra ve şarap yapılabilen yaklaşık 60-80 meyve veren tür bulundurmaktadır. Yetiştiriciliği yapılan tüm türler taze, kuru ve şarap olarak tüketilebilmekle birlikte, *Vitis vinifera* türü standart ve yüksek kaliteli meyve özellikleriyle bu yönde en fazla kullanılanıdır. Asmalar çok geniş bir iklim yelpazesinde yetişebilmekte ve bu durum çok geniş bir çeşit zenginliği oluşturmasına yardımcı olmaktadır. Birbirinden meyve rengi, büyüklüğü ve şekli, meyve suyu kompozisyonu, olgunlaşma zamanı ve hastalık ve zararlılara dayanıklılık bakımından farklı olduğu bildirilmiş yaklaşık 5000 üzüm çeşiti bulunmaktadır (Alleweldt ve Possingham, 1988).

1. ÜZÜM ÜRETİMİ VE TİCARETİ

Üzüm dünya üzerinde 93 farklı ülkede yetiştirilirken, FAO verilerine göre 2020 yılı itibariyle üzüm üreten ülkeler içerisinde Çin yaklaşık 14,8 milyon ton üretimle ilk sırayı almaktadır. Çin'i sırasıyla İtalya, İspanya, Fransa ve ABD takip ederken, Türkiye üretim bakımından altıncı sırada yer almaktadır. Dünya üretiminde ilk 10'da yer alan diğer ülkeler sırasıyla Hindistan, Şili, Arjantin ve Güney Afrika'dır (FAO, 2022). Üzüm üretiminde ilk 10'da yer alan ülkeler dünya üzüm üretiminin %70'ini karşılarken Çin tek başına üretimin %19'unu elinde bulundurmaktadır. Türkiye ise %5'ten biraz fazla üretim oranıyla hatırı sayılır üreticiler arasında yerini almaktadır (Tablo 1).

Tablo 1. Önemli Üzüm Üreticisi Ülkelerin 2020 Yılı Üretim Miktarları (FAO, 2022).

Sıra	Ülkeler	Üretim (Ton)	*DÜO (%)	Sıra	Ülkeler	Üretim (Ton)	DÜO (%)
1	Çin	14.843.091	19,00	11	İran	1.990.937	2,55
2	İtalya	8.222.360	10,53	12	Özbekistan	1.606.942	2,06
3	İspanya	6.817.770	8,73	13	Mısır	1.586.342	2,03
4	Fransa	5.884.230	7,53	14	Avusturalya	1.474.911	1,89
5	ABD	5.388.679	6,90	15	Brezilya	1.435.596	1,84
6	Türkiye	4.208.908	5,39	16	Almanya	1.149.540	1,47
7	Hindistan	3.125.000	4,00	17	Afganistan	993.382	1,27
8	Şili	2.772.561	3,55	18	Romanya	932.770	1,19
9	Arjantin	2.055.746	2,63	19	Portekiz	853.380	1,09
10	Güney Afrika	2.028.185	2,60	20	Yunanistan	815.790	1,04

*DÜO: Dünya üretimindeki oranı.

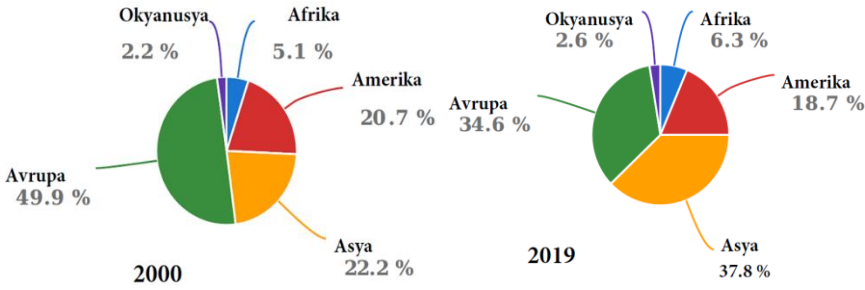
Günümüzde Okyanusya kıtasında yaklaşık 2 milyon ton üzüm üretilirken, Afrika kıtasının üretiminin yaklaşık 5 milyon ton olduğu görülmektedir. Amerika kıtasında toplam üzüm üretimi 13 milyon ton civarında iken, Asya ve Avrupa kıtaları sırasıyla 28 ve 30 milyon tonluk üretimleriyle dünya üzüm üretiminin %70'ten fazlasını ellerinde tutmaktadırlar (Tablo 2).

Tablo 2. Dünya üzüm üretiminin kıtalara göre 2020 yılındaki dağılımı (FAO, 2022).

Kıta	Üretim (ton)
Okyanusya	1.931.911
Afrika	4.806.628
Amerika	13.193.488
Avrupa	28.277.493
Asya	29.824.812
Dünya	78.034.332

Dünya üzüm üretimi kıtalar bazında incelendiğinde 2000'lerin başına kadar Avrupa kıtasının üretimin %50'sini elinde tuttuğu görülmektedir. Ancak, son yıllarda özellikle Çin'in üretiminde yaşanan muazzam artışla birlikte Asya kıtası üretimde Avrupa'yı geride bırakmıştır (Şekil

1). Okyanusya üzüm üretiminin en az olduğu kıta olurken, Afrika kıtası son yıllarda üretimin artmasına karşın dünya üretimindeki payı büyük oranda değişmemiştir. Bu durumun esas sebebinin diğer büyük üretici kıtalarda da üretim miktarlarının ciddi oranlarda artması olduğu açıktır. Aynı durumdan ötürü Amerika kıtasında da üretimin artmış olmasına rağmen yüzdelik payının az da olsa düştüğü görülmektedir.



Şekil 1. Son 20 Yılda Kıtalar Bazında Üzüm Üretimindeki Değişim (FAO, 2021).

Dünya taze üzüm ihracatı yaklaşık 2020 yılı itibariyle yaklaşık 10 milyar dolar hacme ulaşmış bulunmaktadır. Üzüm ihraç eden ülkeler içerisinde Çin yaklaşık 1,6 milyar dolar gelire ilk sırayı alırken, bu ülkeyi sırasıyla Şili, Peru ve Hollanda yaklaşık 1 milyar dolar ihracat geliriyle takip etmektedir. Diğer önemli ihracatçı ülkeler ise İtalya, ABD, Güney Afrika, İspanya, Avustralya ve Hong Kong'dur (Tablo 3). İlk 10'u oluşturan bu ülkeler toplan ihracat gelirinin %81'ine sahiptirler (FAO, 2022).

Tablo 3. 2020 Yılında Üzüm İhraç Eden İlk 10 Ülke ve Elde Ettikleri Gelir.

Ülke	İhracat (1000 dolar)	Pay (%)	Kg Fiyatı (Dolar)
Çin	1.591.151	16,12	2,51
Şili	1.027.573	10,41	1,70
Peru	991.105	10,04	2,39
Hollanda	958.080	9,71	2,67
İtalya	829.375	8,40	1,82
ABD	822.385	8,33	2,32
Güney Afrika	521.726	5,29	1,61
İspanya	472.720	4,79	2,37
Avusturalya	432.227	4,38	2,83
Hong Kong	376.597	3,82	1,81
Türkiye	157.876	1,60	0,74

Üzüm ihraç eden ülkeler içerisinde Çin 633 bin ton ile ilk sırayı alırken, Şili 604 bin ton ihracat ile ikinci sırada yer almaktadır. Bu ülkeleri İtalya ve Peru takip ederken Türkiye 212 bin ton ihracat ile 8. sırada bulunmaktadır (Tablo 4) (FAO, 2022). İhracat miktarları ve gelirleri incelendiğinde (bkz. Tablo 3 ve 4) Türkiye'nin kilogram başına elde etmiş olduğu gelirin diğer önemli ülkelerin 1/3'ü kadar olduğu göze çarpmaktadır. Bu durum üzüm fiyatlandırması ve ihracatındaki politikaların ciddi madda gözden geçirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Tablo 4. Önemli üzüm ihracatçısı ülkeler ve 2020 yılı üzüm ihracatları (FAO, 2022).

Ülke	İhracat (Ton)	DİO (%)
Çin	633.457	12,32
Şili	604.040	11,75
İtalya	454.688	8,84
Peru	415.297	8,08
Hollanda	359.406	6,99
ABD	354.185	6,89
Güney Afrika	324.883	6,32
Türkiye	212.309	4,13
Hong Kong	208.173	4,05
İspanya	199.822	3,89

DİO: Dünya ihracatındaki oranı

2. DÜNYA ASMA ÇEŞİTLİLİĞİ VE ISLAHI

Asma dünya üzerindeki en önemli meyve ürünlerinden biridir. Vitis Uluslararası Çeşit Kataloğu (VIVC) *Vitis vinifera* L. türü içerisinde 12.250 çeşitin var olduğunu raporlarken, ciddi miktardaki eş ve benzer anlamlı adlandırma dolayısıyla bilinen çeşit sayısının bu rakamın yarısı kadardır (maul ve Töpfer, 2015). Kültüre alınmış asma varyetesinin yaklaşık 6000 olduğu bilinirken, bunların 400 kadarı sofralık, şaraplık ve kurutmalık olarak ekonomik öneme sahiptir (Galet, 2000). Kültürü yapılan asmaların büyük bir kısmı hermafrodit ve kendiyle uyuşur çeşitlerdir ve meyveleri değişen şekil, renk ve aromadadır. Pratik manada asmalar çoğunlukla vejetatif yöntemlerle (daldırma, aşılama, çelikle çoğaltım) çoğaltılmaktadırlar.

Ampelografi, yaprak, sürgün ve meyve morfolojik özelliklerine göre çeşit veya genotipin tanımlanmasını ve sınıflandırmasını sağlayan bilim dalıdır. İyi bir ampelografici olmak yıllarca çalışma ve uygulama yaparak uzmanlaşmayı gerektirir. Uluslararası Asma ve Şarap Ofisi (OIV), Uluslararası Yeni Bitki Çeşitlerini Koruma Birliği (UPOV) ve Uluslararası Bitki Genetik Kaynakları Enstitüsü (IPGRI) birlikte asma çeşitlerinin tanımlanması için gerekli morfolojik özellikleri (Üzüm Tanımlayıcıları) belirlemişlerdir. Ancak, özelliklerin sayısı kuruluşa (OIV, UPOV veya IPGRI) ve amaçlanan kullanıma (örn. gen bankası, koruma veya sistematik sınıflandırma) bağlı olarak değişmektedir. Yeterli ayırıcıyı elde edebilmek için söz konusu asmayı verim çağına kadar yetiştirmek gerekmektedir. Bu özellikler tek bir fenolojik dönemde oluşmadıklarından büyüme döngüsü boyunca tekrarlanan gözlemlerle belirlenmelidirler. İncelenen karakterlerin çoğu, bölgeler arasındaki edafoklimatik farklılıklar nedeniyle değişiklik gösterebildiğinden değerlendirmeye esas özelliklerin kararlılığı da esastır. Bu durum, düşük oranlarda farklılık gösteren çeşit ve çeşit adaylarının ayırımını zorlaştırarak daha az sayıda çeşidin bitki çeşit kataloglarında yer almasına sebep olmaktadır (Grigoriou vd., 2020). Bu perspektiften bakıldığında, hızlı tanımlamanın gerektiği çalışmalarda veya kapsamlı koleksiyonların araştırılması gerektiğinde geleneksel fenotipik yaklaşım oldukça kısıtlayıcı olduğu görülmektedir. Bu zorlukların aşılması için uzman olmayan kişilerce de kolaylıkla uygulanabilen ve oldukça düşük bir maliyeti olan elektromanyetik spektrumlu görüntüleme (400-700 nm'de) kullanılmaya başlanmıştır (Fanourakis vd., 2021; Taheri-Garavand vd., 2021). Yöntemin kolay

kullanılabilir ve az masraflı olması ıslahçılar tarafından kabul edilebilirliğini her geçen gün artırmaktadır (Koubouris vd., 2018). Diğer bitki aksamalarının aksine yapraklar tüm sezon boyunca izlenebilmekte ve örneklem yapılabilir. Yaprak özellikleri sezon içerisinde oldukça az değişim göstermekte olduğundan iki boyutlu görselleştirme teknikleriyle çalışılması açısından oldukça uygundur. Asma yaprağında ampelografik olarak incelenen özellikler oldukça geniş bir çeşitlilik göstermekle birlikte şekil, renk, doku, kenar yapısı ve antosiyanin durumu gibi özellikler esas olarak değerlendirilmektedir (Doğan vd., 2018).

Morfolojik belirteçlerin/ayraçların kullanımındaki yoğun iş gücü gerekliliği, çok sayıda ölçüm ve gözlem yapılması, çevresel faktörlerin etkileriyle değişim vb. sınırlayıcı etmenlerden dolayı daha hızlı ve oldukça güvenilir olan moleküler ayraçlar geliştirilmiş ve asma ıslahında büyük bir hızla kabul görüp kullanılmaya başlanmıştır. *V. vinifera* türünün (*V. vinifera* subsp. *vinifera* and *V. vinifera* subsp. *sylvestris*) tanımlanmasında pek çok moleküler teknik yüksek oranda başarıyla kullanılmıştır. Bunlar içerisinde Basit Dizi Tekrarları'nın (SSR) kullanılması yoluyla genotipleme, katılımları, eşanlamlıları, kökenleri ve moleküler profil tasvirini ayırt etmek için tercih edilen belirteç olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Cipriani vd., 2010). Öte yandan, evrensel referanslı verilerin olmaması ve farklı laboratuvarlar ve çalışmalar arasında verilerin (allel boyutlarının) uyum içerisinde olmaması çeşit tanımlama analizlerinde karşılaşılan bir majör sınırlayıcı faktör olarak öne çıkmaktadır (This vd., 2004).

Genetik mühendisliği, bitkilerin geliştirilmesi için olağanüstü bir araç olarak ortaya çıkmıştır (Anderson vd., 2019). Genetik transformasyon, rekombinant DNA teknolojisini kullanarak çeşit kimliğini değiştirmeden hastalıklara veya herbisitlere karşı direncin kültür bitkilerine aktarılması gibi arzu edilen tarımsal özellikleri geliştirmek için bitkilerin genetik olarak modifiye edilmesi imkanını sunmaktadır. Genetik transformasyon için dokuların kullanılıyor olması ve bitkilerin bu dokulardan çoğaltılması dolayısıyla asmada genetik transformasyon çalışmalarının nispeten zor olduğu kabul edilmektedir (Mullins ve diğerleri, 1990; Nakano ve diğerleri, 1994). Asma bitkilerinin transformasyon ve antibiyotiklerle seleksiyon sonrası rejenerasyon oranı, transforme edilen toplam materyalin %10 ila %30'u arasında değişmekte ve genotipe göre değişen transformasyon verimliliği %33 olarak tanımlanmış olsa da %1'e kadar düşmektedir (Torregrosa vd., 2015). Bu perspektife göre, doku rejenerasyonu ile ilgili sorunların üstesinden gelmek, transgenik ve değiştirilmiş asma bitkilerinin üretilmesindeki en önemli zorluklardan biri olarak önümüzde durmaktadır. Bu bağlamda gözden geçirilmesi gereken birkaç faktör asmanın genotipi, eksplantları elde etmek için kullanılan dokunun tipi, transformasyon metodolojisi, rejeneratif dönüştürülebilir materyalin mevcudiyeti ve antibiyotiklere dayalı seçim süreci/prosedürüdür. Asma genetik transformasyonu esas olarak *Agrobacterium tumefaciens* ile enfeksiyon (Torregrosa vd., 2015) ve daha az bir miktarda da biyolistik teknikler (Kikkert vd., 2001; Vidal vd., 2010) yoluyla gerçekleştirilmiştir.

Asma transformasyonundaki en kritik faktör, rejenerasyon kabiliyetinin büyük oranda genotipe bağlı olması dolayısıyla genotiplerin rejenerasyon kabiliyetlerinin oldukça farklı olmasıdır (Gray ve Meredith, 1992). Somatik embriyogenez, asmanın genetik transformasyonu için tercih edilen rejenerasyon prosedürüdür. Başlangıç materyalinin kaynağı, embriyojenik kültürlerin türü ve kalitesi, başarılı bir transformasyon için esas faktörlerdir (Martinelli ve Gribaudo, 2001). Ancak bu sınırlamalara rağmen mantar, viral ve bakteriyel hastalıklara dayanıklı asma çeşitlerinin üretilmesi mümkün olmuştur (Mauro vd., 1995; Scorza vd., 1996; Agüero vd., 2006; Nirala vd., 2010; Capriotti vd., 2020).

V. vinifera türünün hastalık ve zararlılara karşı genetik olarak hassas olması, asmada genetik iyileştirme çalışmalarının temel olarak bu yönde kanalize olmasına neden olmuştur. Çalışmaların çoğu fungal dayanıklılıkla alakalı proteinler üzerine yoğunlaşmaktadır. Fitoaleksin ve stilbenlerin fungal hastalıklara karşı dayanıklılığı artırdığının keşfiyle birlikte bu materyallerin birikimine yönelik çalışmalar da hız kazanmış durumdadır (Dai et al., 2015). Bitkilerin bakterilere dayanımının geliştirilmesinde ise litic peptitler gibi antimikrobiyal olduğu bilinen genler hedef alınmıştır (Li vd., 2015). Virüslere karşı dayanıklılığın artırılmasına yönelik çalışmalarda ise virüs kot proteinleri bitkiye verilerek sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır (Gambino vd., 2005).

3. ÜZÜM SUYU VE ŞİRA

Üzüm suyu kalp hastalıklarından ateroskleroz riskini ve trombosit trombüsü oluşumunu azaltmakta ve çoğunlukla şaraba işlenmektedir (Gronbeak vd., 1995; Dell'Agli vd., 2004). Kalp hastalıklarına iyi gelmesinin yanı sıra üzüm, antioksidan, anti-kanser, antimikrobiyal, yaşlanma önleyici gibi birçok biyofonksiyonel özellikleri olan fenolik bileşikler, antosiyaninler, flavanoller, stilbenler, kateşinler ve proantosiyantinler açısından zengin bir kaynaktır (Güler, 2021a).

Üzüm dünya üzerinde en çok üretilen meyvelerden biri olsa da doğrudan üzüm suyu olarak tüketimi oldukça sınırlıdır (Güler vd., 2020). Üzümün meyve suyu olarak değerlendirilmesinin bu denli kısıtlı olmasının başlıca sebepleri ise içerdiği yüksek şeker ve asittir (Keller, 2020). Söz konusu handikapları dengelemek için farklı meyve ve meyve sularıyla karıştırılarak hazırlanmaktadır. Üzümde elde edilen meyve suyunun stabilitesini artırmak için yeni gelişen teknolojilerden faydalanılan çalışmaların sayısı hızla artmaktadır (Güler, 2021b). Bu teknolojiler arasında ultrason, UV-C ve UV-B, darbeli elektrik alanı (PES) ve ısı işlemler (pastörizasyon vb.) yoğun olarak çalışılmakta ve etkileri değerlendirilmektedir.

Son yıllarda ultrason uygulamaları gıda işleme teknolojisinde yoğun ilgi görmektedir. Bunun başlıca sebebi bitki materyalinden ekstraksiyonu hızlandırması ve ekstraksiyon verimliliğini artırmasıdır (Mason, 1999; Toma vd., 2001; Wu ve Chau, 2001). Ekstraksiyon aşamasında ultrason uygulamasını araştıran çok sayıda çalışma

yapılmış ve bu çalışmalarda fenolikler (Chen vd., 2007; Goli vd., 2006; Wang vd., 2008; Carrera vd., 2012; Nadeem vd., 2018; Pezzini vd., 2019; Aadil vd., 2020; da Rocha vd., 2020; Margean vd., 2020; Yıkılmış vd., 2020), organik asitler (Palma ve Barroso, 2002), aroma bileşikleri (Caldeira vd., 2002; Furuki vd., 2003), yağ (Li ve Weiss, 2003; Hu vd., 2007), polisakkaritler (Hromadkova vd., 1999; Morris vd., 2002; Lieu ve Le, 2010) ve mikrobiyal aktivite (Hosseinzadeh vd., 2018; Ma vd., 2020; Yıkılmış vd., 2020) konuları incelenmiştir. Ancak, bu çalışmaların hiçbiri, ultrason ile meyve suyu işlemede birçok bileşiğin aynı anda ekstraksiyonunu konu edinmemiştir.

Üzüm suyunun raf ömrünün artırılmasında pastörizasyon işlemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, ısı uygulamalarının renk ve aroma maddeleri üzerindeki olumsuz etkileri tüketicilerin bu ürünleri tercihini azaltmaktadır (Daoudi vd., 2002). Muskat üzüm suyunda pastörizasyon esnasında %24'e kadar antosiyanin kaybı olduğu bilinmektedir (Del Pozo-Insfran vd., 2006). Pastörizasyon işleminin bahsedilen zayıf yanlarından ötürü, üzüm suyunun mikrobiyal aktivitesinin dengelenmesi amacıyla yeni koruma metotları araştırılmış ve kükürtdioksit (SO₂) uygulaması bu amaçla önerilmiştir (Lorenzini vd., 2010). Ancak, SO₂ kimyasal bir koruyucu olduğundan kalp hastalıkları riski ortaya çıkmış ve şıra endüstrisi mikrobiyal stabiliteyi sağlayacak yeni metotlar arayışı içerisine girmiştir (Fredericks vd., 2011).

UV, termal olmayan uygulamalar içerisinde ümit vadeden bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır (Pala ve Toklucu, 2013). UV 100 ila 400 nm arasında dalga boylarına sahip ışık spektrumunu ifade etmektedir ve dalga boylarına göre UV-A (320-400 nm), UV-B (280-320 nm) ve UV-C (200-280 nm) ve VUV (100-200 nm) olarak adlandırılmaktadır. UV-C uygulamasının mikroorganizmalar üzerinde öldürücü etkisi olduğu bildirilmiştir (Tran ve Farid, 2004; Keyser vd., 2008; Caminiti vd., 2012). Yakın zamanda yapılan çalışmalar, UV-C'yi üzüm suyunun muhafazasında kullanılabilecek bir metot olarak önermektedir (Nigro vd., 1998; Guerrero-Beltrán vd., 2009; Müller vd., 2014; Güler, 2021b).



Şekil 2. Fırın (solda) ve oda tipi (sağda) UV-C cihazları.

SONUÇ

Üzüm dünya üzerinde en çok üretilen meyvelerden biridir. Son yıllarda da üzüm üretimi artış ivmesindedir. Üzüm ve ürünleri tarımsal ürün piyasasında hatırı sayılır bir yer tutmaktadır. Dolayısıyla yakın gelecekte üzümünden vazgeçilmeyeceği aşıkardır. Bu doğrultuda, üzüm denilince akla gelen tür olan *V. vinifera*'nın hem yetiştirme sezonunda hem de hasat sonrasında hastalık ve zararlılardan ciddi derecede muzdarip olması bilim insanlarını bu zorluklarla başa çıkacak yenilikçi çözümler aramaya itmıştır. Biyoteknolojik yöntemlerin yaygınlaşmasıyla birlikte ıslah çalışmaları doğrudan bir karakteri, özellikle de hastalık ve zararlı direnç genlerini, hedef alarak dirençli bireylerin geliştirilmesi yönünde yoğunlaşmaya başlamıştır. Aynı zamanda teknoloji ve tekniklerin gelişmesiyle mevcut bağlarda UV-C ve UV-B gibi uygulama yöntemleri denenmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu yöntemler aynı zamanda hasat sonrası muhafaza sürecinde de mikrobiyal aktivitenin başarılı bir şekilde kontrol edilmesinde etkili olmuştur.

KAYNAKÇA

- Aadil, R. M., Khalil, A. A., Rehman, A., Khalid, A., Inam-ur-Raheem, M., Karim, A., ... & Afraz, M. T. (2020). Assessing the impact of ultra-sonication and thermo-ultrasound on antioxidant indices and polyphenolic profile of apple-grape juice blend. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(5), e14406.
- Agüero, C. B., Meredith, C. P., ve Dandekar, A. M. (2006). Genetic transformation of *Vitis vinifera* L. cvs Thompson seedless and chardonnay with the pear PGIP and GFP encoding genes. *Vitis* 45, 1–8.
- Anderson, J., Ellsworth, P. C., Faria, J. C., Head, G. P., Owen, M. D., Pilcher, C. D., & Meissle, M. (2019). Genetically engineered crops: importance of diversified integrated pest management for agricultural sustainability. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, 7, 24.
- Caldeira, I., Belchior, A. P., Clímaco, M. C., & De Sousa, R. B. (2002). Aroma profile of Portuguese brandies aged in chestnut and oak woods. *Analytica Chimica Acta*, 458(1), 55-62.
- Caminiti, I. M., Palgan, I., Muñoz, A., Noci, F., Whyte, P., Morgan, D. J., ... & Lyng, J. G. (2012). The effect of ultraviolet light on microbial inactivation and quality attributes of apple juice. *Food and Bioprocess Technology*, 5(2), 680-686.
- Capriotti, L., Baraldi, E., Mezzetti, B., Limera, C., & Sabbadini, S. (2020). Biotechnological approaches: gene overexpression, gene silencing, and genome editing to control fungal and oomycete diseases in grapevine. *Int. J. Mol. Sci.* 21:5701. doi: 10.3390/ijms21165701
- Carrera, C., Ruiz-Rodríguez, A., Palma, M., & Barroso, C. G. (2012). Ultrasound assisted extraction of phenolic compounds from grapes. *Analytica chimica acta*, 732, 100-104.
- Chen, F., Sun, Y., Zhao, G., Liao, X., Hu, X., Wu, J., & Wang, Z. (2007). Optimization of ultrasound-assisted extraction of anthocyanins in red raspberries and identification of anthocyanins in extract using high-performance liquid chromatography–mass spectrometry. *Ultrasonics Sonochemistry*, 14(6), 767-778.

- Cipriani, G., Spadotto, A., Jurman, I., Di Gaspero, G., Crespan, M., Meneghetti, S., ... & Testolin, R. (2010). The SSR-based molecular profile of 1005 grapevine (*Vitis vinifera* L.) accessions uncovers new synonymy and parentages, and reveals a large admixture amongst varieties of different geographic origin. *Theoretical and Applied Genetics*, 121(8), 1569-1585.
- da Rocha, C. B., & Noreña, C. P. Z. (2020). Microwave-assisted extraction and ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from grape pomace. *International Journal of Food Engineering*, 16(1-2).
- Dai, L., Zhou, Q., Li, R., Du, Y., He, J., Wang, D., et al. (2015). Establishment of a picloram-induced somatic embryogenesis system in *Vitis vinifera* cv. chardonnay and genetic transformation of a stilbene synthase gene from wild-growing *Vitis* species. *Plant Cell. Tissue Organ Cult.* 121, 397–412. doi: 10.1007/s11240-015-0711-9
- Daoudi, L., Quevedo, J. M., Trujillo, A. J., Capdevila, F., Bartra, E., Mínguez, S., & Guamis, B. (2002). Effects of high-pressure treatment on the sensory quality of white grape juice. *International Journal of High Pressure Research*, 22(3-4), 705-709.
- Del Pozo-Insfran, D., Balaban, M. O., & Talcott, S. T. (2006). Enhancing the retention of phytochemicals and organoleptic attributes in muscadine grape juice through a combined approach between dense phase CO₂ processing and copigmentation. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(18), 6705-6712.
- Dell'Agli, M., Buscialà, A., & Bosisio, E. (2004). Vascular effects of wine polyphenols. *Cardiovascular Research*, 63(4), 593-602.
- Doğan, A., Uyak, C., Şensoy, R. İ. G., & Keskin, N. (2018). Comparison of two different methods in determination of grapevine leaf area. *Yüzüncü Yil Üniversitesi Journal of Agricultural Sciences*, 28(3), 289-294.
- Fanourakis, D., Kazakos, F., & Nektarios, P. A. (2021). Allometric individual leaf area estimation in chrysanthemum. *Agronomy*, 11(4), 795.
- Fredericks, I. N., Du Toit, M., & Krügel, M. (2011). Efficacy of ultraviolet radiation as an alternative technology to inactivate microorganisms in grape juices and wines. *Food Microbiology*, 28(3), 510-517.

- Furuki, T., Maeda, S., Imajo, S., Hiroi, T., Amaya, T., Hirokawa, T., ... & Nozawa, H. (2003). Rapid and selective extraction of phycocyanin from *Spirulina platensis* with ultrasonic cell disruption. *Journal of Applied Phycology*, 15(4), 319-324.
- Galet, P. (2000). Dictionnaire encyclopédique des cépages. *Hachette*.
- Gambino, G., Gribaudo, I., Leopold, S., Scharl, A., & Laimer, M. (2005). Molecular characterization of grapevine plants transformed with GFLV resistance genes: I. *Plant Cell Rep.* 24, 655–662. doi: 10.1007/s00299-005-0006-4
- Goli, A. H., Barzegar, M., & Sahari, M. A. (2005). Antioxidant activity and total phenolic compounds of pistachio (*Pistachia vera*) hull extracts. *Food chemistry*, 92(3), 521-525.
- Gray, D. J., and Meredith, C. P. (1992). "Biotechnology of perennial fruit crops," in *Biotechnology of Perennial Fruit Crops*, ed. FAO of the UN (Wallingford: CAB International), 229–262.
- Grigoriou, A., Tsaniklidis, G., Hagidimitriou, M., & Nikoloudakis, N. (2020). The Cypriot indigenous grapevine germplasm is a multi-clonal varietal mixture. *Plants*, 9(8), 1034.
- Gronbaek, M., Deis, A., Sorensen, T. I., Becker, U., Schnohr, P., & Jensen, G. (1995). Mortality associated with moderate intakes of wine, beer, or spirits. *Bmj*, 310(6988), 1165-1169.
- Guerrero-Beltrán, J. A., Velti-Chanes, J., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2009). Ultraviolet-C light processing of grape, cranberry and grapefruit juices to inactivate *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Food Process Engineering*, 32(6), 916–932.
- Güler, E. (2021a). Bolu yöresi asma (*Vitis vinifera* L.) genetik kaynaklarının biyokimyasal ve moleküler tanımlanması. Doktora tezi, Bolu.
- Güler, E. (2021b). Evaluation of the Effects of Different Treatments on Stability of Grape Juice in Short-term Storage. *Bahçe*, 50(2), 143-148.
- Güler, E., Canan, İ., Gündoğdu, M., & Karadeniz, T. (2020). Sultani Çekirdeksiz Üzüm Çeşidinin Raf Ömrü Üzerine Uv-C, Ultrason ve Map Uygulamalarının Etkisinin Belirlenmesi. *Bahçe*, 49(1), 247-250.

- Hosseinzadeh Samani, B., Lorigooini, Z., Rostami, S., Zareiforoush, H., Behruzian, M., & Behruzian, A. (2018). The simultaneous effect of electromagnetic and ultrasound treatments on *Escherichia coli* count in red grape juice. *Journal of Herbmед Pharmacology.*, 7(1).
- Hu, A. J., Zhao, S., Liang, H., Qiu, T. Q., & Chen, G. (2007). Ultrasound assisted supercritical fluid extraction of oil and coixenolide from adlay seed. *Ultrasonics sonochemistry*, 14(2), 219-224.
- Keller, M. (2020). *The science of grapevines*. Academic press. Elsevier, United Kingdom
- Keyser, M., Müller, I. A., Cilliers, F. P., Nel, W., & Gouws, P. A. (2008). Ultraviolet radiation as a non-thermal treatment for the inactivation of microorganisms in fruit juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(3), 348-354.
- Kikkert, J. R., Thomas, M. R., & Reisch, B. I. (2001). Grapevine genetic engineering. *In Molecular biology & biotechnology of the grapevine* (pp. 393-410). Springer, Dordrecht.
- Koubouris, G., Bouranis, D., Vogiatzis, E., Nejad, A. R., Giday, H., Tsaniklidis, G., & Fanourakis, D. (2018). Leaf area estimation by considering leaf dimensions in olive tree. *Scientia Horticulturae*, 240, 440-445.
- Li, H., Pordesimo, L., & Weiss, J. (2004). High intensity ultrasound-assisted extraction of oil from soybeans. *Food research international*, 37(7), 731-738.
- Li, Z. T., Hopkins, D. L., & Gray, D. J. (2015). Overexpression of antimicrobial lytic peptides protects grapevine from Pierce's disease under greenhouse but not field conditions. *Transgenic Res.* 24, 821–836. doi: 10.1007/s11248-015-9876-6
- Lieu, L. N., & Le, V. V. M. (2010). Application of ultrasound in grape mash treatment in juice processing. *Ultrasonics-Sonochemistry*, 17(1), 273-279.
- Lorenzini, M., Fracchetti, F., Bolla, V., Stefanelli, E., Rossi, F., & Torriani, S. (2010, June). Ultraviolet light (UV-C) irradiation as an alternative technology for the control of microorganisms in grape juice and wine. In *33rd World congress of vine and wine, 8th general assembly of the OIV* (pp. 20-25).
- Ma, T., Wang, J., Wang, L., Yang, Y., Yang, W., Wang, H., ... & Sun, X. (2020). Ultrasound-combined sterilization technology: An effective sterilization

- technique ensuring the microbial safety of grape juice and significantly improving its quality. *Foods*, 9(10), 1512.
- Margean, A., Lupu, M. I., Alexa, E., Padureanu, V., Canja, C. M., Cocan, I., ... & Poiana, M. A. (2020). An overview of effects induced by pasteurization and high-power ultrasound treatment on the quality of red grape juice. *Molecules*, 25(7), 1669.
- Martinelli, L., & Gribaudo, I. (2001). "Somatic embryogenesis in grapevine," in *Molecular Biology & Biotechnology of the Grapevine*, ed. K. A. Roubelakis-Angelakis (Dordrecht: Springer), 327–351. doi: 10.1007/978-94-017-2308-4_13
- Mason, T. J. (1999). Sonochemistry: current uses and future prospects in the chemical and processing industries. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 357(1751), 355-369.
- Maul, E., & Töpfer, R. (2015). Vitis International Variety Catalogue (VIVC): A cultivar database referenced by genetic profiles and morphology. In *BIO Web of conferences* (Vol. 5, p. 01009). EDP Sciences.
- Mauro, M. C., Toutain, S., Walter, B., Pinck, L., Otten, L., Coutos-Thevenot, P., et al. (1995). High efficiency regeneration of grapevine plants transformed with the GFLV coat protein gene. *Plant Sci*. 112, 97–106. doi: 10.1016/0168-9452(95)04246-Q
- Morris, G. A., Hromádková, Z., Ebringerová, A., Malovíková, A., Alföldi, J., & Harding, S. E. (2002). Modification of pectin with UV-absorbing substituents and its effect on the structural and hydrodynamic properties of the water-soluble derivatives. *Carbohydrate polymers*, 48(4), 351-359.
- Mullins, M. G., Tang, F. C., & Facciotti, D. (1990). Agrobacterium-mediated genetic transformation of grapevines: transgenic plants of *Vitis rupestris* Scheele and buds of *Vitis vinifera* L. *Bio/technology*, 8(11), 1041-1045.
- Müller, A., Noack, L., Greiner, R., Stahl, M. R., & Posten, C. (2014). Effect of UV-C and UV-B treatment on polyphenol oxidase activity and shelf life of apple and grape juices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 26, 498-504.

- Nadeem, M., Ubaid, N., Qureshi, T. M., Munir, M., & Mehmood, A. (2018). Effect of ultrasound and chemical treatment on total phenol, flavonoids and antioxidant properties on carrot-grape juice blend during storage. *Ultrasonics sonochemistry*, 45, 1-6.
- Nakano, M., Hoshino, Y., & Mii, M. (1994). Regeneration of transgenic plants of grapevine (*Vitis vinifera* L.) via *Agrobacterium* rhizogenes mediated transformation of embryogenic calli. *Journal of Experimental Botany*, 45(5), 649-656.
- Nigro, F., Ippolito, A., & Lima, G. (1998). Use of UV-C light to reduce Botrytis storage rot of table grapes. *Postharvest Biology and Technology*, 13(3), 171-181.
- Nirala, N. K., Das, D. K., Srivastava, P. S., Sopory, S. K., & Upadhyaya, K. C. (2010). Expression of a rice chitinase gene enhances antifungal potential in transgenic grapevine (*Vitis vinifera* L.). *J. Grapevine Res.* 49, 181–187.
- Pala, Ç. U., & Toklucu, A. K. (2013). Effects of UV-C light processing on some quality characteristics of grape juices. *Food and Bioprocess Technology*, 6(3), 719-725.
- Palma, M., & Barroso, C. G. (2002). Ultrasound-assisted extraction and determination of tartaric and malic acids from grapes and winemaking by-products. *Analytica Chimica Acta*, 458(1), 119-130.
- Pezzini, V., Agostini, F., Smiderle, F., Touguinha, L., Salvador, M., & Moura, S. (2019). Grape juice by-products extracted by ultrasound and microwave-assisted with different solvents: a rich chemical composition. *Food Science and Biotechnology*, 28(3), 691-699.
- Scorza, R., Cordts, J. M., Gray, D. J., Gonsalves, D., Emershad, R. L., & Ramming, D. W. (1996). Producing transgenic “Thompson Seedless” grape (*Vitis vinifera* L.) plants. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 121:4.
- Taheri-Garavand, A., Rezaei Nejad, A., Fanourakis, D., Fatahi, S., & Ahmadi Majd, M. (2021). Employment of artificial neural networks for non-invasive estimation of leaf water status using color features: A case study in *Spathiphyllum wallisii*. *Acta Physiologiae Plantarum*, 43(5), 1-11.

- This, P., Jung, A., Boccacci, P., Borrego, J., Botta, R., Costantini, L., ... & Maul, E. (2004). Development of a standard set of microsatellite reference alleles for identification of grape cultivars. *Theoretical and Applied Genetics*, 109(7), 1448-1458.
- Toma, M., Vinatoru, M., Paniwnyk, L., & Mason, T. J. (2001). Investigation of the effects of ultrasound on vegetal tissues during solvent extraction. *Ultrasonics sonochemistry*, 8(2), 137-142.
- Torregrosa, L., Violet, S., Adivèze, A., Iocco-Corena, P., & Thomas, M. R. (2015). Grapevine (*Vitis vinifera* L.). In *Agrobacterium protocols* (pp. 177-194). Springer, New York, NY.
- Tran, M. T. T., & Farid, M. (2004). Ultraviolet treatment of orange juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5(4), 495-502.
- Vidal, J. R., Gomez, C., Cutanda, M. C., Shrestha, B. R., Bouquet, A., Thomas, M. R., & Torregrosa, L. (2010). Use of gene transfer technology for functional studies in grapevine. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16, 138-151.
- Wang, J., Sun, B., Cao, Y., Tian, Y., & Li, X. (2008). Optimisation of ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from wheat bran. *Food chemistry*, 106(2), 804-810.
- Wu, J., Lin, L., & Chau, F. T. (2001). Ultrasound-assisted extraction of ginseng saponins from ginseng roots and cultured ginseng cells. *Ultrasonics sonochemistry*, 8(4), 347-352.
- Yıkıms, S., Bozgeyik, E., & Şimşek, M. A. (2020). Ultrasound processing of verjuice (unripe grape juice) vinegar: effect on bioactive compounds, sensory properties, microbiological quality and anticarcinogenic activity. *Journal of Food Science and Technology*, 57(9), 3445-3456.

BÖLÜM 9

MELATONİNİN TARIMSAL STRES KAYNAKLARINA ETKİSİ

Öğr. Gör. Dr. Akgül TAŞ^{1*}

Prof. Dr. Müttalip GÜNDOĞDU²

^{1*} Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Seben İzzet Baysal Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Bolu, Türkiye. akgulltas@gmail.com

² Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Bolu, Türkiye. mgundogdu@ibu.edu.tr

GİRİŞ

Dünyada insan nüfusunun artışına paralel olarak, gıda gereksiniminin karşılanması için tarımsal üretimin yapılması zorunlu bir ihtiyaç halini alsa da bu durum ne yazık ki, çeşitli tarımsal aktivitelerden kaynaklanan kirlilikleri de beraberinde getirmiştir (Gregory ve George, 2011). Ağır metallere kaynaklanan kirlilik, toprağın asitlenmesi, yer altı ve yüzey suları kirliliği ve hava kirlilikleri gibi faktörler, tarımsal üretimden kaynaklı kirlilik sebeplerini oluşturmaktadır (Tung ve Yaseen, 2020; Wei ve ark., 2020; Alengebawy ve ark., 2021). Tarımsal kaynaklı kirlilikler, tarımsal üretim yapılan topraklarda ve nihayetinde bitkilerde, önemli derecede stres kaynağı olabilmekte ve tarımsal verimliliği ciddi oranlarda olumsuz etkileyebilmektedir (Sami ve ark., 2020).

Bitkiler, herhangi bir stres kaynağıyla karşılaştıklarında (onları tetikleyici herhangi bir faktör), içlerinde bulunan doğal savunma mekanizmalarını harekete geçirerek, yaşadıkları duruma tepki gösterebilmektedirler. ‘Sistemik kazanılmış dayanıklılık’ olarak adlandırılan bu savunma mekanizması çeşidinde, bitkilere ait olan birçok savunma hormonları rol alabilmektedir. Oksinin (indol-3-asetik asit; IAA), absisik asit, brassinosteroidler, etilen, giberellinler, jasmonik asit ve salisilik asit olarak adlandırılan bu çeşitli hormonların, bitkilerde birçok stres kaynağına toleransı artırdığı, bitki büyüme ve gelişmesini teşvik ettiği bilinmektedir (Meng ve ark., 2014, Xu ve ark., 2016; Sytar ve ark., 2019; Ghasemi ve ark., 2021; Johnson ve Puthur, 2021; Rhaman ve ark., 2021).

Ayrıca, bitkilerde önemli savunma hormonları olan bu hormonların dışında, yine bitkilerin savunmasında rol alabilen başka bir önemli hormon da ‘Melatonin (N-asetil-5-metoksitriptamin)’ hormonudur. Melatonin, organizmalarda doğal olarak oluşan endojen bir indolamindir. Molekül kütlesi 232.28, yoğunluğu 1.269 g cm³ olup, kimyasal formülü ise C₁₃H₁₆N₂O₂’dir (Sharif ve ark., 2018). Melatonin hormonu; salatalık (*Cucumis sativus* Linnaeus (Cucurbitales: Cucurbitaceae)), kivi (*Actinidia arguta* (Siebold & Zucc.) Planch. (Ericales: Actinidiaceae)), lahanası (*Brassica oleracea* Linnaeus (Brassicales: Brassicaceae)), havuç (*Daucus carota* Linnaeus (Apiales: Apiaceae)), çilek (*Fragaria* spp. Linnaeus (Rosales: Rosaceae)), domates (*Solanum lycopersicum* Linnaeus (Solanales: Solanaceae)) gibi birçok bitkiler tarafından ve alglerde de üretilebilmektedir. Hormon, bitkilerde, bitki hücresinin altında bulunan; kloroplast, sitoplazma, mitokondri ve endoplazmik retikulum gibi bölümlerden salgılanmaktadır (Back ve ark., 2016; Tang ve ark., 2018; Tan ve Reiter, 2020).

Bitkilerde çok çeşitli görevlerde önemli faydaları bulunan melatonin hormonunun; tohumun çimlenmesi, tohum ve meyve gelişimi, bitki büyümesi ve vejetatif gelişme gibi olayların iyileştirilmesinde, fotosentetik süreçler ve ozmoregülasyon olaylarının düzenlenmesinde rol alabildiği, ayrıca yaprakların ve meyvelerin yaşlanmasını geciktirdiği bilinmektedir (Vurro ve ark., 2016; Arnao ve Hernández-Ruiz, 2020; Buttar ve ark., 2020; Zhao ve ark., 2021). Bu hormon; flavonoidler, antosiyaninler ve karotenoidlerin biyosentezlerini tetikler.

Bitkilerde birincil, ikincil ve saçak köklerin gelişimini de destekler (Arnao ve Hernández-Ruiz, 2017). Melatoninin, bir diğer önemli faydası da hasat sonrasında depolanan birçok sebze ve meyvelerde çürümeyi azaltıp, ürünler üzerinde daha fazla sürelerde depolama imkanlarını sunabilmesidir (Duarte-Sierra ve ark., 2020; Onik ve ark., 2021).

Melatoninin, bitkiler dışında diğer canlılarda da önemli işlevleri bulunmaktadır. Bu hormon, hayvanlarda, motor aktivitelerden sorumlu olup, vücut ısısı değişiklikleri ve üreme fizyolojisi gibi birçok biyolojik süreçleri etkileyebilmektedir (Majidinia ve ark., 2018). Melatonin insanlarda ise kardiyovasküler hastalıkları önleyebilir, obeziteyle ilişkili bozuklukların yönetimini iyileştirebilir ve bazı tümörlere karşı mücadele edebilir (Loloei ve ark., 2019; Kong ve ark., 2020; Genario ve ark., 2021).

Melatoninin, canlılar üzerinde yukarıda belirtilen olumlu özelliklerinden başka, diğer bir önemli faydasının da bitkilerde ortaya çıkabilen abiyotik ve biyotik stres faktörleri üzerinde stresi hafifletici veya büyük oranlarda azaltıcı etkisinin bulunmasıdır (Moustafa-Farag ve ark., 2020; Li ve Yan, 2021).

1. ABİYOTİK STRES FAKTÖRLERİ

Bitkilerde, çok çeşitli durum ve derecelerde ortaya çıkabilen abiyotik stres faktörleri, bazen olumsuz iklim koşullarından dolayı bazen de tarımsal üretim yapılan topraktaki olumsuz koşullar neticesinde ortaya çıkabilmektedir. Kendi içinde fiziksel ve kimyasal faktörler olarak

kategorilendirilebilen abiyotik stres faktörlerinin fiziksel açıdan oluşan stres faktörlerini; kuraklık, sıcaklık, ışık, radyasyon, su baskını, mekanik etkiler (rüzgâr, kar ve buz örtüsü) şeklinde, kimyasal açıdan oluşan stres faktörlerini ise hava kirlilikleri, bitki besin elementleri, bilinçsiz şekilde kullanılan pestisitler ve gübreler, toksinler, tuzlar ve toprak Ph'sı şeklinde ayırmak mümkündür (Kaya ve Doğanlar, 2016).

Hava kirlilikleri, bitkiler de dahil olmak üzere tüm canlılar üzerinde olumsuz etkilere sahip olabilen, dikkate alınması gereken önemli bir abiyotik stres faktörüdür. Hava kirliliklerine neden olan önemli bir parametre ise 'ağır metal kirlilikleri'dir. Aynı zamanda önemli bir tarımsal kirlilik etmeni olan ağır metal kirlilikleri, insanların kırsal alanlardan kentsel alanlara yaptıkları göçler ile meydana gelen hızlı kentleşme sonucunda, zorunlu bir ihtiyaç haline gelen sanayileşme aracılığıyla ortaya çıkabilmektedir. Sanayileşme durumunda, çeşitli sanayi kuruluşlarından atmosfere dağılan ağır metaller; havayı, oradan da yeryüzüne inerek yer altı ve yüzey sularını ve tarımsal üretimin yapıldığı alanlardaki kültür bitkilerini ve toprağa hızlıca nüfus ederek bu alanları kirletebilmektedir. Bunun sonucunda ise hem canlıların sağlığı olumsuz etkilenebilmekte, yaşadıkları çevre kirlenmekte, hem de tarımsal üretimde verim kayıpları yaşanmakta ve dolayısıyla tarımsal sürdürülebilirlik durumu sekteye uğrayabilmektedir (Kamran ve ark., 2021; Riaz ve ark., 2021).

Ağır metal kirliliklerinde, Ni (nikel), Cd (kadmiyum), V (vanadyum) ve Pb (kurşun) gibi birçok elementler rol alabilmektedir (Ferronato ve Torretta, 2019; Huang ve ark., 2019; Shi ve ark., 2019; Wang ve ark.,

2020). Ağır metal Cd elementi; kolay kolay biyolojik olarak parçalanamayan, canlılar üzerinde çeşitli zararlı etkilere sahip olan ve hava, su, toprak üzerinde oldukça olumsuz etkileri olabilen, önemli metallere birisidir (Bundschuh ve ark., 2017; Shah ve ark., 2020; Xu ve ark., 2020).

Cd düzeyleri; tarımsal üretim yapılan toprakta, uzun süreli olarak ve bilinçsizce fazla miktarlarda kullanılan pestisitler ve özellikle de fosfatlı gübreler aracılığıyla yükselebilmektedir. Buna göre, toprakta artan Cd konsantrasyonları sonucunda, sulama ve yağmurla yıkanmalar aracılığıyla, yine önemli miktarlarda Cd ağır metali sulara geçip, hem bu ortamları önemli derecede kirletebilmekte, hem de bu ortamlarda yaşayan canlıların sağlığında da olumsuz etkilere neden olabilmektedir (Tang ve ark., 2018; Nabaei ve Amooaghaie, 2019; Wang ve ark., 2019).

Küçük bir oranı dahi toksik etkilere yol açabilen Cd ağır metalinin tarımsal toprakta meydana getirdiği bulaşma, özellikle de gelişmekte olan ve gelişmiş ülkelerde ciddi bir sorun olarak düşünülmüş ve Cd-elementsiz güvenilir gıda üretimi konusu, ülkelerdeki ilgili yetkililer tarafından, üzerinde önemle durulması gereken bir zorunluluk haline gelmiştir (Lin ve ark., 2018; Yang ve ark., 2019; Sabir ve ark., 2020).

Tarımsal üretim yapılan toprakta, yüksek oranlarda bulunan Cd düzeyleri; yetiştiriciliği yapılan kültür bitkilerinde, fizyolojik, biyokimyasal, metabolik ve morfolojik anormalliklere neden

olabilmekte (Li ve ark., 2016) ve tarımsal verimlilik ciddi oranlarda olumsuz şekilde etkilenebilmektedir (Mehmood ve ark., 2018).

Bunun yanı sıra, Cd ağır metali, bitkilerde hücre döngüsünü ve hücre bölünmesini etkileyebilmekte, bunun sonucunda kromozomal anormalliklere neden olarak, hatalı embriyoların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Ağır metalin, bitkilerde bu etkisiyle ise sonuç olarak bitki büyüme ve gelişim mekanizmasında önemli sorunlar ortaya çıkabilmektedir (Hasan ve ark., 2015; Jing ve ark., 2020; Liu ve ark., 2020).

Toprak ortamından bitkilere, bitkilerden oluşan mahsulleri tüketecek insan bünyesine geçebilen Cd ağır metali, insanlarda, çeşitli kanser hastalıklarına, olumsuz mutasyonlara ve maalesef sakat ve anormal doğumlar olarak ortaya çıkan çeşitli teratojenik etkilere sebebiyet verebilmekte ve böylelikle insanların sağlığında ciddi olumsuz koşullara neden olabilmektedir (Hasan ve ark., 2015; Lin ve ark., 2018).

Bu sebeplerden dolayı, Cd ile kirlenmiş toprakların iyileştirilmesi oldukça elzem bir durumdur. Toprağın Cd ağır metalinden temizlenebilmesi veya bu metalin toksik etkilerinin azaltılabilmesi amacıyla; seçilebilecek çözüm yolu elbette ki hem ekonomik olmalı hem de çevre üzerinde olumsuz etkiye neden olmamalı ve de tabii olarak sürdürülebilir bir yaklaşım olmalıdır.

Melatonin, çoğu bitkilerde, ağır metallere kaynaklanan stres toleranslarını artırabilen, çevreyle dost, sürdürülebilir bir yaklaşım örneğidir (Kaya ve ark., 2019; Altaf ve ark., 2021; Li ve Yan, 2021).

Melatonin hormonunun, Cd stresi altında bulunan bitkilerde, bu ağır metale karşılık bitkinin savunma mekanizmalarını harekete geçirebildiği ve Cd'nin bitkiye verdiği bazı zararları iyileştirebildiği, bitkinin Cd'ye toleransını artırdığı bazı çalışmalarla belgelenmiştir (Nawaz ve ark., 2016; Kanwar ve ark., 2018; Tiwari ve ark., 2020). Melatonin, Cd ağır metalinin bitkilerde neden olduğu kloroplast bozulması, mitokondrinin parçalanması gibi fitotoksik semptomları hafifleterek, bitkilere yardımcı olabilmektedir (Lee ve Back, 2017).

Melatonin hormonunu zor koşullarla karşılaşan bitkiler kendileri üretebileceği gibi, bu hormon bitkilere eksojen olarak da uygulanabilmektedir. Bazı çalışmalarda, bitkilerin kök sisteminden veya sulama suyu aracılığıyla, tohumların kaplanmasıyla veya yaprakların püskürtülmesiyle melatonin hormonunun bitkilere dışarıdan uygulanmasının, bu bitkilerde Cd toleransını arttırdığı bildirilmiştir (Cai ve ark., 2017; Tang ve ark., 2018). Yine başka bir çalışmada, eksojen olarak uygulanan melatonin aracılığıyla, bitkilerde, büyümenin daha fazla olduğu ve antioksidan aktivitelerin artarak (Debnath ve ark., 2018), Cd stresinin hafiflediği yakın zamanda bildirilmiştir (Mir ve ark., 2020).

Başka bir çalışmada; yonca (*Medicago sativa* Linnaeus (Fabales: Fabaceae)), domates (*S. lycopersicum*), buğday (*Triticum* spp. Linnaeus (Poales: Poaceae)) ve tamarillo (*Solanum betaceum* Cav. (Solanales: Solanaceae)) bitkilerinde dışarıdan melatonin uygulanmasıyla, Cd stresine karşılık Cd toleransının artış gösterdiği ve Cd fitotoksitesinin hafiflediği ortaya konulmuştur (Tang ve ark., 2018).

Melatoninin bitkilere dışarıdan uygulanmasının getirdiği başka bir olumlu özellik ise eksojen melatonin uygulamalarının, bitkilerde; sıcaklık, kuraklık, soğukluk ve tuz stresi gibi fiziksel ve kimyasal olan olumsuz abiyotik stres koşullarına dayanıklılığı daha fazla artırabilmesidir (Visentin ve ark., 2016; Du ve ark., 2018; Min ve ark., 2019). Konuyla ilgili olarak yapılan bir çalışmada, Bermuda spp. çim türünde dışarıdan melatonin uygulanmasıyla bu çimde, birçok abiyotik stres toleranslarının artış gösterdiği bildirilmiştir (Shi ve ark., 2014).

Bir diğer örnek çalışmada, tohumların melatonin ile uygulanmasının, tohum ağırlığı gibi çeşitli tohum özelliklerini olumlu yönde destekleyerek, bitki verimini artırdığı ve bitkilerin abiyotik stres faktörlerine karşı daha dirençli olduğu bilinmektedir (Ahmad ve ark., 2021; Heshmati ve ark., 2021).

Ağır metallere başka, hava kirliliklerine yol açabilen bir diğer önemli parametre ise 'asit yağmurları'dır. Hammaddesi tarıma dayalı olan çoğu sanayi kuruluşları, birçok ülkelerde yaşanan hava kirliliklerinin önemli bir tetikleyicisi olabilmektedir. Ülkemizde de çok sayıda bulunan bu kuruluşların, zararlı kimyasal ve gazların dışarıya akışını önleyici uygun filtreleri kullanmamaları nedeniyle, atmosfere, kükürt dioksit, azot dioksit, karbon dioksit gibi gazları salıvermeleriyle, zamanla havada biriken zararlı gazlar önemli derecede hava kirliliklerine neden olabilmektedirler (Shohel ve ark., 2018). Atmosferde oransal olarak fazlaca bulunan kötü etkili bu gazlar; yağmur, kar, sis, çiy gibi doğa olayları aracılığıyla yeryüzüne inerek, bitkilerde çeşitli stres kaynağı oluşturabilmekte ve canlıların sağlığında

ise ciddi oranlarda sorunlara yol açabilmektedirler. Atmosferdeki zararlı gazların bu şekilde iklimsel etkilerle yeryüzüne inmesi olayına ‘Asit yağmurları’ denilmektedir. Ayrıca, bu etkilerin dışında, asit yağmurları yağdığında, tatlı su kaynaklarına da kolaylıkla ulaşabilmekte, buradaki suların kalitelerini bozmakta ve hatta sularda yaşayan canlıların ölümlerine bile neden olabilmektedirler (Yadu ve ark., 2020).

Bitkilerde, asit yağmurlarından kaynaklanan stresin önlenmesiyle ilgili yapılan bir çalışmada, melatonin hormonunun asit yağmuru stresini azaltarak, bitkilere yardımcı olabildiği kanıtlanmıştır (Debnath ve ark., 2020).

2. BİYOTİK STRES FAKTÖRLERİ

Abiyotik stres faktörlerinden başka bitkilerde ortaya çıkabilen ‘biyotik stres faktörleri’ de bitkilerde önemli derecede olumsuzluklara sebebiyet verebilmektedir. Bitkilerde meydana gelebilen biyotik stres faktörlerine ait genel tetikleyiciler; yabancı bitkiler, zararlı böcekler, hayvanlar ve hastalık mikroorganizmaları (virüsler, bakteriler ve funguslar) olarak sınıflandırılabilirler (Kaya ve Doğanlar, 2016).

Üreticiler, tarımsal üretim sürecinde yetiştirdikleri kültür bitkilerinin üretiminden hasada kadar geçen zamanda, biyotik stres faktörlerinden özellikle de zararlı böcekler ve hastalık mikroorganizmalarıyla yoğun bir şekilde mücadele etmektedirler. Bu amaçla üreticiler, günümüzde, çoğunlukla hemen hızlı çözüm olabilmesi açısından, çeşitli kimyasalları, kimyasal içerikli pestisit ve gübreleri bilinçsiz bir şekilde,

doz aşımı olarak kullanabilmekte ve bu şekilde doğal denge tahrip olmaktadır. Her ne kadar o anlık hızlı bir çözümmüş gibi görünse de bilinçsiz bir şekilde kullanılan pestisit ve gübrelere karşı zararlı organizmaların dayanıklılık göstermesi ve kimyasal bileşiği tanıyarak o bileşiğin başka bir kullanımında artık ondan etkilenmemesi şeklinde ortaya çıkan ‘dayanıklılık’ sorunu, gittikçe artış göstermektedir. Bu yüksek olası yaşanabilecek dayanıklılık problemi ise hem tarımsal üreticiler üzerinde ciddi bir ekonomik kayıp yükü oluşturacak, hem de kullanılan kimyasal bileşiklerin canlılar ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri daha da artış gösterecektir. Bu sebeple, bitkilerde ortaya çıkabilecek biyotik stres faktörlerine karşı, üreticiler tarafından seçilebilecek mücadele yönteminde, hem canlı ve çevre üzerinde olumsuz etkinin olmadığı veya oldukça düşük olduğu, hem de ekonomik ve sürdürülebilir mücadele yöntemleri yaklaşımları tercih edilmelidir (Foley ve ark., 2011; Duman ve Altuntaş, 2018; Altinok ve ark., 2019; Kaçar ve Koca, 2020).

Buna göre, bu çalışmada önceden de belirtildiği üzere, melatonin hormonunun kullanımı, ekonomiklik, olumlu etkileşimlik ve sürdürülebilirlik açısından oldukça uygun olan bir yaklaşımdır. Melatonin hormonunun, özellikle de fungal ve viral kaynaklı hastalıklara karşı, bitkilerde savunma mekanizmalarını harekete geçirerek, dayanıklılık oluşturduğu ve böylece bitki hastalıklarına karşı mücadele ettiği bilinmektedir (Moustafa-Farag ve ark., 2020).

SONUÇ

Dünya’da sanayi devriminden bu yana, çoğu ülkede olduğu gibi ülkemizde de yaşanan hızlı kentleşme ve sanayileşmeler aracılığıyla artan bir sorun haline gelen ağır metal kirlilikleri ve asit yağmurları gibi hava kirliliği parametreleri ile sıcaklık, kuraklık, tuz stresi gibi diğer olumsuz abiyotik koşulların baskısı, tarımsal üreticilerin yetiştirdiği bitkiler üzerinde, her geçen gün ciddi oranlarda artış gösterebilmektedir. Bunun yanı sıra, abiyotik faktörlerden başka; böcek, bakteri, fungus, virüs gibi biyotik stres kaynakları ve bu organizmalara karşı üreticiler tarafından, bilinçsiz şekillerde kullanılan kimyasal gübre ve pestisitlerin varlığı da bitkiler üzerinde, az veya çok ölçüde, devamlı olarak stres oluşturabilecek faktörlerdir. Konuyla ilgili olarak küçük bir örnek vermek gerekirse, biyotik bir strese karşı kullanılan kimyasal gübre ve pestisitlerin abiyotik faktörlerden ağır metal kirliliklerini artırabileceği göz önünde bulundurulursa, aslında, abiyotik ve biyotik stres faktörlerinin hepsi de birbirleriyle bağlantılı olup, bir stres kaynağını bir diğerinden ayırmak oldukça güçtür. Ortaya çıkan bu tablo, her ne kadar karmaşık gibi görünse de, bir stres kaynağının hafifletilmesinin bile, bir zincirin tüm halkalarını olumlu ölçüde ne denli etkileyebileceğini bilmek ve bu amaçla hareket etmek en doğru yaklaşım olacaktır.

Bu doğrultuda, herhangi bir stres kaynağının azaltılabilmesi amacıyla, seçilebilecek çözüm yolu elbette ki hem ekonomik olmalı hem de canlı ve çevre üzerinde olumsuz etkiye neden olmamalı ve de tabii olarak da sürdürülebilir bir yaklaşım olmalıdır. Buna göre, bitkilerin doğal

mekanizmasında zaten var olan melatonin hormonunun eksojen olarak kullanımı, birçok olumlu özellikleriyle birlikte, çevreyle dost ve sürdürülebilir bir yaklaşımdır. Ayrıca, melatoninin bitkilere dışarıdan uygulanmasının, bitki korumada kullanılan diğer sentetik kimyasallarla karşılaştırıldığında, insanlar başta olmak üzere canlılar ve onların yaşadığı çevreleri üzerinde hiçbir olumsuz etkisinin bulunmadığı bilinmektedir (Agathokleous, 2017).

Tıpkı bir felaket senaryosu gibi görünse de çoğu bilimsel çevreler tarafından, yakın bir gelecekte öngörüldüğü üzere, çarpık kentleşmenin artmasıyla, dünyada yaşanacak tarımsal kirlilik düzeyleri her geçen gün artış gösterebilecek ve canlılar üzerinde abiyotik stres kaynağına yol açan iklim değişiklikleri ise daha fazla yaşanmaya başlayacaktır (Hong ve ark., 2020). Böyle bir tablonun iyileştirilmesinde, mutlaka yapıcı ve sürdürülebilir çözümlere ihtiyaç bulunmaktadır ve melatonin hormonu, böyle bir çözümü bizlere sunabilecek bir ışığa sahiptir. Elbette ki, böyle bir çözüm önerisinin yaygınlığı ve kalıcılığının test edilebilmesi için, yapılacak tarla çalışmalarında, daha çok kültür bitkileri üzerinde melatonin hormonunun denenmesi ve hormonun, bitkiler üzerindeki etki mekanizmalarının tam olarak ortaya çıkarılması, oldukça önem arz etmektedir.

KAYNAKÇA

- Agathokleous, E. (2017). Perspectives for elucidating the ethylenediurea (EDU) mode of action for protection against O₃ phytotoxicity. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 142: 530-537.
- Ahmad, S., Kamran, M., Zhou, X. B., Ahmad, I., Meng, X., Javed, T., Iqbal, A., Wang, G. Y., Su, W., Wu, X., Ahmad, P., Han, Q. (2021). Melatonin improves the seed filling rate and endogenous hormonal mechanism in grains of summer maize. *Physiologia Plantarum*, 172 (2): 1059-1072.
- Alengebawy, A., Abdelkhalek, S. T., Qureshi, S. R., Wang, M.-Q. (2021). Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: Ecological risks and human health implications. *Toxics*, 9 (3): 42.
- Altaf, M. A., Shahid, R., Ren, M. X., Altaf, M. M., Khan, L. U., Shahid, S., Jahan, M. S. (2021). Melatonin alleviates salt damage in tomato seedling: a root architecture system, photosynthetic capacity, ion homeostasis, and antioxidant enzymes analysis. *Scientia Horticulturae*, 285: 110145.
- Altinok, H. H., Altinok, M. A., Koca, A. S. (2019). Modes of action of entomopathogenic fungi. *Curr. Trends Nat. Sci*, 8(16), 117-124.
- Arnao, M. B., Hernández-Ruiz, J. (2017). Growth activity, rooting capacity, and tropism: three auxinic precepts fulfilled by melatonin. *Acta Physiologiae Plantarum*, 39: 127.
- Arnao, M. B., Hernández-Ruiz, J. (2020). Melatonin in flowering, fruit set and fruit ripening. *Plant Reproduction*, 33: 77–87.
- Back, K., Tan, D. X., Reiter, R. J. (2016). Melatonin biosynthesis in plants: multiple pathways catalyze tryptophan to melatonin in the cytoplasm or chloroplasts. *Journal of Pineal Research*, 61 (4): 426–437.
- Bundschuh, J., Maity, J. P., Mushtaq, S., Vithanage, M., Seneweera, S., Schneider, J., Bhattacharya, P., Khan, N. I., Hamawand, I., Guilherme, L. R. (2017). Medical geology in the framework of the sustainable development goals. *Science of The Total Environment*, 581: 87–104.

- Buttar, Z. A., Wu, S. N., Arnao, M. B., Wang, C., Ullah, I., Wang, C. (2020). Melatonin suppressed the heat stress-induced damage in wheat seedlings by modulating the antioxidant machinery. *Plants*, 9 (7): 809.
- Cai, S. Y., Zhang, Y., Xu, Y. P., Qi, Z. Y., Li, M. Q., Ahammed, G. J., Xia, X. J., Shi, K., Zhou, Y. H., Reiter, R. J. (2017). HsfA1a upregulates melatonin biosynthesis to confer cadmium tolerance in tomato plants. *Journal of Pineal Research*, 62 (2): e12387.
- Debnath, B., Hussain, M., Li, M., Lu, X., Sun, Y., Qiu, D. (2018). Exogenous melatonin improves fruit quality features, health promoting antioxidant compounds and yield traits in tomato fruits under acid rain stress. *Molecules*, 23 (8): 1868.
- Debnath, B., Li, M., Liu, S., Pan, T., Ma, C., Qiu, D. (2020). Melatonin-mediate acid rain stress tolerance mechanism through alteration of transcriptional factors and secondary metabolites gene expression in tomato. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 200: 110720.
- Duarte-Sierra, A., Tiznado-Hernández, M. E., Jha, D. K., Janmeja, N., Arul, J. (2020). Abiotic stress hormesis: an approach to maintain quality, extend storability, and enhance phytochemicals on fresh produce during postharvest. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19 (6): 3659-3682.
- Du, H., Huang, F., Wu, N., Li, X., Hu, H., Xiong, L. (2018). Integrative regulation of drought escape through ABAdependent and-independent pathways in rice. *Molecular Plant*, 11 (4): 584-597.
- Duman, E., Altuntaş, H. (2018). Genotoxicity of azadirachtin on *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae). *Biological Diversity and Conservation*, 11 (3): 24-30.
- Ferronato, N., Torretta, V. (2019). Waste mismanagement in developing countries: a review of global issues. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16 (6): 1060.
- Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., Zaks, D. P. M. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478: 337–342.

- Genario, R., Cipolla-Neto, J., Bueno, A. A., Santos, H. O. (2021). Melatonin supplementation in the management of obesity and obesity-associated disorders: a review of physiological mechanisms and clinical applications. *Pharmacological Research*, 163: 105254.
- Ghasemi, N., Omid, H., Bostani, A. (2021). Morphological properties of *Catharanthus roseus* L. seedlings affected by priming techniques under natural salinity stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40: 550-557.
- Gregory, P. J., George, T. S. (2011). Feeding nine billion: the challenge to sustainable crop production. *Journal of Experimental Botany*, 62: 5233-5239.
- Hasan, M. K., Ahammed, G. J., Yin, L., Shi, K., Xia, X., Zhou, Y., Yu, J., Zhou, J. (2015). Melatonin mitigates cadmium phytotoxicity through modulation of phytochelatin biosynthesis, vacuolar sequestration, and antioxidant potential in *Solanum lycopersicum* L. *Frontiers in Plant Science*, 6: 601.
- Heshmati, S., Dehaghi, M. A., Farooq, M., Wojtyla, L., Maleki, K., Heshmati, S. (2021). Role of melatonin seed priming on antioxidant enzymes and biochemical responses of *Carthamus tinctorius* L. under drought stress condition. *Plant Stress*, 2: 100023.
- Hong, C., Mueller, N. D., Burney, J. A., Zhang, Y., AghaKouchak, A., Moore, F. C., Qin, Y., Tong, D., Davis, S. J. (2020). Impacts of ozone and climate change on yields of perennial crops in California. *Nature Food*, 1: 166-172.
- Huang, Y., Wang, L., Wang, W., Li, T., He, Z., Yang, X. (2019). Current status of agricultural soil pollution by heavy metals in China: a meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 651: 3034-3042.
- Jing, C., Kong, Q., Feng, Z. (2020). Heavy metal pollution in a uranium mining and metallurgy area in South China. *China Environmental Science*, 40 (1): 338-349.
- Johnson, R., Puthur, J. T. (2021). Seed priming as a cost effective technique for developing plants with cross tolerance to salinity stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 162: 247-257.
- Kamran, M., Danish, M., Saleem, M. H., Malik, Z., Parveen, A., Abbasi, G. H., Jamil, M., Ali, S., Afzal, S., Riaz, M., Rizwan, M. (2021). Application of abscisic

- acid and 6-benzylaminopurine modulated morpho-physiological and antioxidative defense responses of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) by minimizing cobalt uptake. *Chemosphere*, 263: 128169.
- Kanwar, M. K., Yu, J., Zhou, J. (2018). Phytomelatonin: recent advances and future prospects. *Journal of Pineal Research*, 65 (4): e12526.
- Kaya, A., Doğanlar, Z. B. (2016). Exogenous jasmonic acid induces stress tolerance in tobacco (*Nicotiana tabacum*) exposed to imazapic. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 124: 470-479.
- Kaya, C., Okant, M., Ugurlar, F., Alyemeni, M. N., Ashraf, M., Ahmad, P. (2019). Melatonin-mediated nitric oxide improves tolerance to cadmium toxicity by reducing oxidative stress in wheat plants. *Chemosphere*, 225: 627–638.
- Kaçar, G., Koca, A. S. (2020). Bolu ili kiraz ve vişne bahçelerinde belirlenen zararlı ve faydalı türler. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 6(3), 435-443.
- Kong, X., Gao, R., Wang, Z., Wang, X., Fang, Y., Gao, J., Reiter, R. J., Wang, J. (2020). Melatonin: a potential therapeutic option for breast cancer. *Trends in Endocrinology & Metabolism*, 31 (11): 859-871.
- Lee, H. Y., Back, K. (2017). Cadmium disrupts subcellular organelles, including chloroplasts, resulting in melatonin induction in plants. *Molecules*, 22 (10): 1791.
- Li, L., Yan, X. (2021) Insights into the roles of melatonin in alleviating heavy metal toxicity in crop plants. *Phyton*, 90: 1559–1572.
- Li, M. Q., Hasan, M. K., Li, C. X., Ahammed, G. J., Xia, X. J., Shi, K., Zhou, Y. H., Reiter, R. J., Yu, J. Q., Xu, M. X., Zhou, J. (2016). Melatonin mediates selenium-induced tolerance to cadmium stress in tomato plants. *Journal of Pineal Research*, 61 (3): 291–302.
- Lin, L., Li, J., Chen, F., Liao, M., Tang, Y., Liang, D., Xia, H., Lai, Y., Wang, X., Chen, C. (2018). Effects of melatonin on the growth and cadmium characteristics of *Cyphomandra betacea* seedlings. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190: 119.

- Liu, H., Xie, Y., Li, J., Zeng, G., Li, H., Xu, F., Feng, S., Xu, H. (2020). Effect of *Serratia* sp. K3 combined with organic materials on cadmium migration in soil-*Vetiveria zizanioides* L. system and bacterial community in contaminated soil. *Chemosphere*, 242: 125164.
- Loloei, S., Sepidarkish, M., Heydarian, A., Tahvilian, N., Khazdouz, M., Heshmati, J., Pouraram, H. (2019). The effect of melatonin supplementation on lipid profile and anthropometric indices: a systematic review and meta-analysis of clinical trials. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, 13 (3): 1901-1910.
- Majidinia, M., Reiter, R. J., Shakouri, S. K., Yousefi, B. (2018). The role of melatonin, a multitasking molecule, in retarding the processes of ageing. *Ageing Research Reviews*, 47: 198-213.
- Mehmood, S., Saeed, D. A., Rizwan, M., Khan, M. N., Aziz, O., Bashir, S., Ibrahim, M., Ditta, A., Akmal, M., Mumtaz, M. A. (2018). Impact of different amendments on biochemical responses of sesame (*Sesamum indicum* L.) plants grown in lead-cadmium contaminated soil. *Plant Physiology and Biochemistry*, 132: 345–355.
- Min, Z., Li, R., Chen, L., Zhang, Y., Li, Z., Liu, M., Ju, Y., Fang, Y. (2019). Alleviation of drought stress in grapevine by foliar-applied strigolactones. *Plant Physiology and Biochemistry*, 135: 99-110.
- Mir, A. R., Faizan, M., Bajguz, A., Sami, F., Siddiqui, H., Hayat, S. (2020). Occurrence and biosynthesis of melatonin and its exogenous effect on plants. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 89: 1-23.
- Meng, J. F., Xu, T. F., Wang, Z. Z., Fang, Y. L., Xi, Z. M., Zhang, Z. W. (2014). The ameliorative effects of exogenous melatonin on grape cuttings under water-deficient stress: antioxidant metabolites, leaf anatomy, and chloroplast morphology. *Journal of Pineal Research*, 57 (2): 200–212.
- Moustafa-Farag, M., Almoneafy, A., Mahmoud, A., Elkelish, A., Arnao, M. B., Li, L., Ai, S. (2020). Melatonin and its protective role against biotic stress impacts on plants. *Biomolecules*, 10 (1): 54.

- Nabaei, M., Amooaghaie, R. (2019). Melatonin and nitric oxide enhance cadmium tolerance and phytoremediation efficiency in *Catharanthus roseus* (L.) G. Don. *Environmental Science and Pollution Research*, 27: 6981–6994.
- Nawaz, M. A., Huang, Y., Bie, Z., Ahmed, W., Reiter, R. J., Niu, M., Hameed, S. (2016). Melatonin: current status and future perspectives in plant science. *Frontiers in Plant Science*, 6: 1230.
- Ni, J., Wang, Q., Shah, F. A., Liu, W., Wang, D., Huang, S., Fu, S., Wu, L. (2018). Exogenous melatonin confers cadmium tolerance by counterbalancing the hydrogen peroxide homeostasis in wheat seedlings. *Molecules*, 23: 799.
- Onik, J. C., Wai, S. C., Li, A., Lin, Q., Sun, Q., Wang, Z., Duan, Y. (2021). Melatonin treatment reduces ethylene production and maintains fruit quality in apple during postharvest storage. *Food Chemistry*, 337: 127753.
- Rhaman, M. S., Imran, S., Rauf, F., Khatun, M., Baskin, C. C., Murata, Y., Hasanuzzaman, M. (2021). Seed priming with phytohormones: an effective approach for the mitigation of abiotic stress. *Plants*, 10 (1): 37.
- Riaz, M., Kamran, M., Fang, Y., Wang, Q., Cao, H., Yang, G., Deng, L., Wang, Y., Zhou, Y., Anastopoulos, I., Wang, X. (2021). Arbuscular mycorrhizal fungi-induced mitigation of heavy metal phytotoxicity in metal contaminated soils: a critical review. *Journal of Hazardous Materials*, 402: 123919.
- Sabir, A., Naveed, M., Bashir, M. A., Hussain, A., Mustafa, A., Zahir, Z. A., Kamran, M., Ditta, A., Núñez-Delgado, A., Saeed, Q. (2020). Cadmium mediated phytotoxic impacts in *Brassica napus*: managing growth, physiological and oxidative disturbances through combined use of biochar and *Enterobacter* sp. MN17. *Journal of Environmental Management*, 265: 110522.
- Sami, A., Shah, F. A., Abdullah, M., Zhou, X., Yan, Y., Zhu, Z., Zhou, K. (2020). Melatonin mitigates cadmium and aluminium toxicity through modulation of antioxidant potential in *Brassica napus* L. *Plant Biology*, 22: 679–690.
- Shah, A. A., Ahmed, S., Ali, A., Yasin, N. A. (2020). 2-Hydroxymelatonin mitigates cadmium stress in *Cucumis sativus* seedlings: modulation of antioxidant enzymes and polyamines. *Chemosphere*, 243: 125308.

- Sharif, R., Xie, C., Zhang, H., Arnao, M. B., Ali, M., Ali, Q., Muhammad, I., Shalmani, A., Nawaz, M. A., Chen, P., Li, Y. (2018). Melatonin and its effects on plant systems. *Molecules*, 23 (9): 2352.
- Shi, H., Jiang, C., Ye, T., Tan, D. X., Reiter, R. J., Zhang, H., Liu, R., Chan, Z. (2014). Comparative physiological, metabolomic, and transcriptomic analyses reveal mechanisms of improved abiotic stress resistance in bermudagrass [*Cynodon dactylon* (L). Pers.] by exogenous melatonin. *Journal of Experimental Botany*, 66: 681–694.
- Shi, T., Ma, J., Zhang, Y., Liu, C., Hu, Y., Gong, Y., Wu, X., Ju, T., Hou, H., Zhao, L. (2019). Status of lead accumulation in agricultural soils across China (1979–2016). *Environment International*, 129: 35–41.
- Shohel, M., Kistler, M., Rahman, M. A., Kasper-Giebl, A., Reid, J. S., Salam, A. (2018). Chemical characterization of PM_{2.5} collected from a rural coastal island of the Bay of Bengal (Bhola, Bangladesh). *Environmental Science and Pollution Research*, 25: 4558–4569.
- Sytar, O., Kumari, P., Yadav, S., Brestic, M., Rastogi, A. (2019). Phytohormone priming: Regulator for heavy metal stress in plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38: 739–752.
- Tan, D. X., Reiter, R. J. (2020). An evolutionary view of melatonin synthesis and metabolism related to its biological functions in plants. *Journal of Experimental Botany*, 71 (16): 4677–4689.
- Tang, Y., Lin, L., Xie, Y., Liu, J., Sun, G., Li, H., Liao, M., Wang, Z., Liang, D., Xia, H. (2018). Melatonin affects the growth and cadmium accumulation of *Malachium aquaticum* and *Galinsoga parviflora*. *International Journal of Phytoremediation*, 20: 295–300.
- Tiwari, R. K., Lal, M. K., Naga, K. C., Kumar, R., Chourasia, K. N., Subhash, S., Kumar, D., Sharma, S. (2020). Emerging roles of melatonin in mitigating abiotic and biotic stresses of horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 272: 109592.
- Tung, T. M., Yaseen, Z. M. (2020). A survey on river water quality modelling using artificial intelligence models: 2000–2020. *Journal of Hydrology*, 585: 124670.

- Visentin, I., Vitali, M., Ferrero, M., Zhang, Y., Ruyter-Spira, C., Novák, O., Strnad, M., Lovisolo, C., Schubert, A., Cardinale, F. (2016). Low levels of strigolactones in roots as a component of the systemic signal of drought stress in tomato. *New Phytologist*, 212 (4): 954-963.
- Vurro, M., Prandi, C., Baroccio, F. (2016). Strigolactones: how far is their commercial use for agricultural purposes?. *Pest Management Science*, 72 (11): 2026-2034.
- Wang, K., Ma, J., Li, M., Qin, Y., Bao, X., Wang, C., Cui, D., Xiang, P., Ma, L. Q. (2020). Mechanisms of Cd and Cu induced toxicity in human gastric epithelial cells: Oxidative stress, cell cycle arrest and apoptosis. *Science of The Total Environment*, 756: 143951.
- Wang, P., Chen, H., Kopittke, P. M., Zhao, F. J. (2019). Cadmium contamination in agricultural soils of China and the impact on food safety. *Environmental Pollution*, 249: 1038–1048.
- Wei, J., Li, Z. Q., Huang, W., Xue, W. H., Sun, L., Guo, J. P., Peng, Y. R., Li, J., Lyapustin, A., Liu, L., Wu, H., Song, Y. M. (2020). Improved 1 km resolution PM_{2.5} estimates across China using the space-time extremely randomized trees. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20 (6): 3273-3289.
- Xu, L., Zhang, F., Tang, M., Wang, Y., Dong, J., Ying, J., Chen, Y., Hu, B., Li, C., Liu, L. (2020). Melatonin confers cadmium tolerance by modulating critical heavy metal chelators and transporters in radish plants. *Journal of Pineal Research*, 69 (1): e12659.
- Xu, Y. X., Mao, J., Chen, W., Qian, T. T., Liu, S. C., Hao, W. J., Li, C. F., Chen, L. (2016). Identification and expression profiling of the auxin response factors (ARFs) in the tea plant (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) under various abiotic stresses. *Plant Physiology and Biochemistry*, 98: 46-56.
- Yadu, A., Satapathy, M., Sahariah, B. P., Anandkumar, J. (2020). Realistic approach for bioremediation of heterogeneous recalcitrant compounds. *Combined Application of Physico-Chemical & Microbiological Processes for Industrial Effluent Treatment Plant*, Springer, Singapore, 237-260 pp.

- Yang, S., Zhao, J., Chang, S. X., Collins, C., Xu, J., Liu, X. (2019). Status assessment and probabilistic health risk modeling of metals accumulation in agriculture soils across China: a synthesis. *Environment International*, 128: 165-174.
- Zhao, Y. Q., Zhang, Z. W., Chen, Y. E., Ding, C. B., Yuan, S., Reiter, R. J., Yuan, M. (2021). Melatonin: a potential agent in delaying leaf senescence. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 40: 1–22.

BÖLÜM 10

KÜRESEL ISINMANIN TARIM UYGULAMALARINA ETKİLERİ

Öğr. Gör. Sema ÇAKIR ÖNGÖREN¹

¹ Siirt Üniversitesi, Kurtalan Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Siirt, Türkiye. s.cakir@siirt.edu.tr

GİRİŞ

İklim değışikliği, hem dünya yörünge hareketi, volkanik faaliyetler, yeryüzü kabuk hareketleri gibi atmosferik faktörlerin hem de sera gazı artışı gibi beşerî faktörlerin neden olduğu atmosfer koşullarındaki değışiklikleri ifade eder. Küresel sıcaklıktaki ortalama artışı ifade eden küresel ısınmaya bağlı iklim değışikliği gelecekte önemli küresel değışikliklere neden olacaktır.

Küresel ısınma sadece ortalama sıcaklık artışı ve yağış rejimi üzerine bir değışikliğe neden olmaz, aynı zamanda sıcaklık ve yağış değışimine bağlı olarak sel, kuraklık, sıcak hava dalgaları, hortum, kasırga gibi aşırı hava olayların yoğunluğunda da değışikliğe neden olur. İklim değışikliklerin etkileri, deniz seviyesinin yükselmesi, buzulların erimesi, bitki ve hayvan türlerinin azalması, okyanus sıcaklığının yükselmesi, kış mevsimin kısalmasıyla birlikte erken ilkbahar gelmesi gibi dünyada çeşitli şekillerde görülmesi beklenmektedir.

Küresel ısınma sorunuyla etkin bir şekilde mücadele edebilmek için ilk olarak 1988 yılında Hükümetler arası İklim Değışikliği Paneli (IPCC) düzenlenmiş ve iklim değışikliği konusunda derinlemesine araştırmalar yapılmıştır. Son olarak düzenlenen Hükümetler arası İklim Değışikliği Paneli (IPCC); iklim değışikliğine ilişkin altıncı raporunda (2021) önemli bilimsel kanıtlar ortaya konulmuş ve tüm dünya tarafından kabul edilmiştir. Ayrıca bu rapora göre küresel ısınmanın dünya üzerinde ciddi etkilerinin olduğu ve antropolojik

faaliyetlerinden kaynaklandığı karbondioksit (CO₂) ve diğer sera gazı emisyonlarının sürekli artışın, yirminci yüzyılın ortalarından küresel ısınmaya neden olması beklenmektedir. Özellikle bu raporda insanların mevcut fosil yakıtları tüketimini azami miktara indirmedikleri sürece, dünyada her yirmi yılda 1.5 °C artacağı belirtilmektedir.

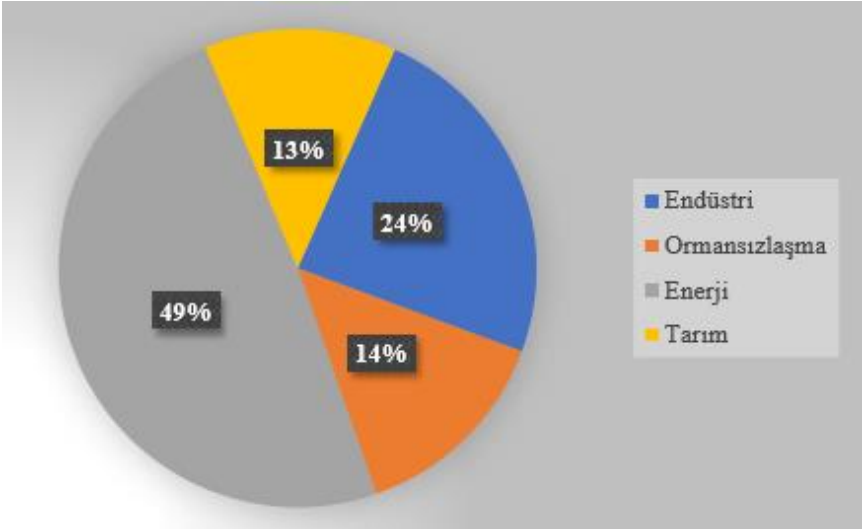
İklim değişiklikleri ve artan dünya nüfusu tarımsal faaliyetlere daha profesyonel olarak bakmayı zorunlu kılmaktadır (Yılmaz ve Soysal, 2021). Sürdürülebilir tarım ekonomik olarak sağlanacaksa tarımsal yönetim üretim ve yönetim paradigmaları değiştirilmelidir (Yılmaz ve ark., 2021). Nüfus artışına ve değişen beslenme düzenine bağlı olarak tarımsal üretimin gelecek yıllarda artırılması gerekmektedir (Soysal ve Yılmaz, 2021). Ancak bu tarımsal üretim artışı çevreyi koruyarak ve tarımın iklim değişikliğine karşı duyarlılığını azaltacak şekilde gerçekleştirilmelidir. Tarımsal üretimde iklim en önemli çevre faktörüdür. Küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliğinin neticesinde tarım ve hayvancılık üretimi, girdi kaynakları ve tarımsal sistemlerin diğer komponentlerin üzerine etkileri beklenmektedir. Tarımsal üretimden kaynaklı küresel ısınmaya neden olacak etkileri kontrol altına alabilmek için sera gazı salınımlarını, kimyasal bitki besin maddeleri ve zararlı pestisitlerin kullanımı ile ilgili tarımsal faaliyetlerin en aza indirilmesi gereklidir. İklim değişikliği, tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan çevre sorunları arasında önemli hale gelmiştir. Tarımsal faaliyetler hem küresel ısınmayı tetiklerken hem de küresel ısınmanın olumsuz yönlerinden etkilenmektedir.

Dünya nüfusunun giderek artması, kontrol edilemeyen şehirleşme ve hızla artmaya devam eden sanayileşme ile enerji ve yakıt tüketimi artmış ayrıca doğal kaynaklar yok olmaya başlamış neticesinde de atmosfere salınan sera gazlarının artmasıyla birlikte küresel ısınma hızla devam etmektedir. Küresel ısınmanın hızlı artışına bağlı olarak, hidrolojik döngüde dalgalanmalar, tarımsal üretim ve gıda güvenilirliği, enerji kaynakları, temiz su kaynakları, verimli topraklar, orman ve bitki örtüsü, insan sağlığı, bitki ve hayvan tür sayısı, ulaştırma ve turizm üzerine doğrudan ya da dolaylı olumsuz etkilerin ortaya çıkması beklenmektedir. Küresel ısınmanın hızlanması sadece ekosistemi değil aynı zamanda canlı yaşamını da etkilediğinden hem ulusal hem de uluslararası seviyede önemli bir konu haline gelmiştir.

1. KÜRESEL ISINMA VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

Küresel ısınma ve iklim değişikliği birbirinin yerine kullanılsa da aslında farklı terimlerdir. Sera etkisi, güneş ışınlarının sera gazları tarafından dünya yüzeyine yakın bir yerde tutulması ve buna bağlı olarak dünyanın istenilenden daha fazla ısınmasıdır. Atmosferde bulunan karbondioksit (C_2O), su buharı (H_2O), metan (CH_4), azot oksit (N_2O) ve diğer sera gazlarına bağlı olarak sera etkisinin artmasıyla yer kürenin yüzey sıcaklığında ortalama 0.8-1.5 °C derecelik bir artış meydana gelmesi küresel ısınma olarak adlandırılır. İklim değişikliği, küresel ısınmaya bağlı olarak hem doğal iklim değişiklikleri hem de antropojenik faaliyetler sonucunda dünyada yerel, bölgesel ve küresel olan iklimdeki değişikliklerdir.

19. yüzyılın sonlarına doğru Avrupa’da başlayarak tüm dünyada hızla ilerleyen sanayi devrimi başlamış ve bu süreçten itibaren günümüze kadar küresel ortalama sıcaklığı ortalama 0.6 °C’ lik bir artış gözükmiştir. Fosil yakıtların üretimi ve tüketimi, çeşitli kimyasalların kullanımı, tarımsal faaliyetler, ormansızlaştırmadan kaynaklanan atıklar ve diğer endüstriyel faaliyetler gibi bazı insan faaliyetleri, atmosferdeki başta karbondioksit (CO₂), metan (CH₄) ve azot oksit(N₂O) olmak üzere sera gazı salınımları artmıştır ve sonucunda doğanınbozulmasına bağlı olarak küresel ısınma ve iklim değişikliği tetiklenmektedir. Şekil 1’de fosil yakıtların kullanılmasıyla birlikte küresel ısınmaya insan faaliyetlerinin etkisi en yüksek enerji yakıt tüketimi %49’luk payla olduğu gözükmektedir (Özmen, 2009).



Şekil 1: İnsan Faaliyetlerinin Küresel Isınmaya Katkısı (Özmen, 2009)

Çizelge 1’ de görüldüğü üzere küresel sera gazı emisyonları enerji, tarım, sanayi ve atık şeklinde dört başlık altında toplanmıştır. Sera gazı emisyonlarının neredeyse dörtte üçü enerji tüketimimizden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 1: Küresel Sera Gazı Emisyonlarının Sektördeki Payı

Sektör	Küresel Sera Gazı Emisyonları Payı
Enerji	%73,2
Tarım	%18,4
Endüstri	%5,2
Atık	%3,2

Küresel ısınmaya neden olan faktörler doğal ve yapay olmak üzere iki grupta toplanırlar. Doğal faktörler; güneş hareketi, dünyanın presesyon hareketi, el-nino hareketi, yapay faktörler; fosil yakıtların kullanımı vesera gazı etkisidir.

Doğal Faktörler;

- i) **Güneş Hareketi:** Yeryüzünde meydana gelen kıta hareketleriyle birlikte güneş lekelerinin ve güneşin manyetik alanındaki dalgalanmaların iklim değişikliğine etkisi bulunmaktadır (Ersoy, 2006).
- ii) **Dünyanın Presesyon Hareketi:** Bilim insanları tarafından 1930’lu yıllarda 23.000 yılda bir dünyanın kendi eksenindeki dönüşü esnasındaki deviniminde eksen eğikliğine bağlı olarak dünyanın ekseninde doğrusal bir kayma ve aynı zamanda doğrusal bir sapma olduğu ispat edilmiştir. Bunun sonucunda dünyada soğuk dönemler gerçekleşmektedir ve bu

dönemlerde 100.000 yıl süreçte 10.000 yıl süre ile sıcak dönemler gerçekleşir. Bu sıcaklık değişimi küresel ısınmayı tetiklemektedir (Şaylıkay, 2010).

iii) El- nino Hareketi: El- nino mevsim normallerin üzerindeki sıcaklıktır ve bu hareket Tropikal Doğu Pasifik Okyanusu'nda deniz yüzeyi sıcaklıklarının normalden 2, 5 °C daha yüksek olmasına neden olmuştur. Buna bağlı olarak atmosferde istenilenden şiddetli hava olayları ve doğal afetler olmasıyla küresel ısınma meydana gelir. El- nino hareketleri benzer olsa da yıllara göre şiddeti, büyüklüğü iklim ve çevreye etkisi farklıdır (https://www.turkcebilgi.org/cografya/genel-cografya/el-nino---guney-salinimleri-31867_2.html. Erişim Tarihi: 06.01.2022).

Yapay Faktörler

i) Fosil Yakıtların Kullanımı: Küresel enerji için fosil yakıtlardan en çok kömür devamında ise petrol ve doğal gaz kullanılmaktadır. Sanayileşme, şehirleşme ve nüfusun artmasıyla beraber endüstri, ulaşım, tarım ve ısınma için fosil yakıtların kullanımının artmasıyla salınan CO₂ küresel ısınmanın hızlanmasına yol açmaktadır.

ii) Sera Gazı Etkisi: Kömür ve diğer fosil yakıtların kullanımının artmasıyla birlikte sera gazlarının salınımları artmaktadır. Hükümetlerarası iklim değişikliği paneli (IPCC) son raporunda küresel ısınmaya insan faaliyetlerinin kesin olarak neden olduğu ve

sera gazlarının bugün kontrol altına bile alınsa önümüzdeki 30 yıl için etkileri devam edecektir.

İklim değişikliğinin etkileri, çevre üzerindeki etkiler; okyanus ve sahilbölgeleri, su kaynakları, toprak ve orman, ekosistem üzerindeki etkiler ve toplum üzerindeki etkiler; tarım sektörü, insan sağlığı, enerji kaynakları, ulaştırma ve turizm sektörü üzerine etkileri olmak üzere iki gruba ayrılmıştır (EAA,2017). Bunun yanı sıra iklim değişikliğinin ekonomi üzerine dolaylı etkilerde göz ardı edilemeyecek durumdadır.

Küresel ısınma olgusundan hem çevre hem de insan yaşamı olumsuz yönde etkilenmektedir. Küresel ısınmayla buzulların erimesi ve okyanus suların genişlemesiyle deniz seviyesinde yükselme meydana gelir. Deniz seviyesinin yükselmesiyle sahil bölgelerde, kıyıların aşınmasıyla birlikte sel ve taşkınlar meydana gelecek bu da toprak kayıplarına neden olacaktır. Bazı kıyı bölgelerin yok olmasıyla mecburi göçler yaşanacaktır. Sıcaklığın artmasıyla birlikte birçok bölgede aşırı buharlaşma nedeniyle su seviyeleri düşecek ve bu da şiddetli sağanak yağışların sel olasılığını artırmasına neden olacaktır.

Küresel ısınmayla orman ve ekosistemdeki dengeler bozulabilir. Hem karada hem de okyanusta belirli bir iklim kuşağında bir arada bulunan bitki ve hayvan tür sayısında azalmalar hatta bazı türlerin yok olma tehdidi altındadır.

Seldeki olası artış ile su ve kanalizasyon altyapısına verilen hasar, yetersiz ve kirli su kaynakları, kuraklık bulaşıcı hastalıkları

yaygınlaştırabilir. Ozon gibi fotokimyasal kirleticilerin konsantrasyonu, daha yüksek sıcaklıklarda artma eğilimindedir. Ozon özellikle astımı ve diğer akciğer rahatsızlıklarını tetiklemektedir.

Tarım ve küresel ısınma arasında hem negatif hem de pozitif bir ilişki vardır. Bir taraftan iklimdeki sıcaklık artışına bağlı tarımsal ürün kaybı oluşurken diğer bir taraftansa iklim değişikliğiyle soğuk olan bölgelerde tarıma kullanılabilir hale gelmektedir. Ayrıca günümüzde artan tarımsal faaliyetler sonucunda sera gazı salınımlarının neticesinde küresel ısınmayı olumsuz etkilemektedir.

Enerji sektöründe fosil yakıtların kullanımıyla ortaya çıkan karbondioksit ve diğer sera gazları küresel ısınmayı tetikleyerek, çevre, sosyal ve ekonomi üzerine olumsuz etkileri oluşturmaktadır.

Atmosferdeki sera gazı konsantrasyonundaki artış, iklim değişikliğine ve küresel ısınma etkisine yol açmasıyla Kyoto Protokolü, iklim değişikliğine ilişkin Paris Anlaşması'nın imzalanması ve sera gazı etkisinin olumsuz sonuçlarını kontrol etmeye yönelik diğer uluslararası girişimleri harekete geçirmiştir.

Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini önleyebilmek için ilk olarak 1992 yılında Rio De Janeiro'da Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) Dünya Zirvesinde kabul edilmiş, 1994 yılında yürürlüğe girmiştir. Türkiye bu sözleşmeye 24 Mayıs 2004 tarihinde resmen taraf olarak katılmıştır. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi

(BMİDÇS) amacı, sera gazı emisyonlarını kontrol altına alabilmek, araştırma ve teknoloji üzerinde taraflarla iş birliği yapmak ve sera gazının etki ettiği alanların korunmasıdır.

Kyoto Protokolü, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) içerisinde 11 Aralık 1997'de kabul edilmiş, karmaşık bir onay süreci nedeniyle 16 Şubat 2005'te yürürlüğe girmiştir. Kyoto Protokolü'nün 192 Tarafı bulunmaktadır. Kyoto Protokolü, gelişmiş sanayi ülkelerin sera gazı emisyonlarını uygun olarak sınırlamaya ve azaltmaya karar vererek Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesini işler hale getiriyor. Sözleşmenin kendisi bu ülkelerden sera gazı emisyonları için önlemler almalarını ve periyodik olarak rapor vermelerini ister. Türkiye 26 Ağustos 2009 tarihinde Kyoto Protokolü'ne taraf olmuştur.

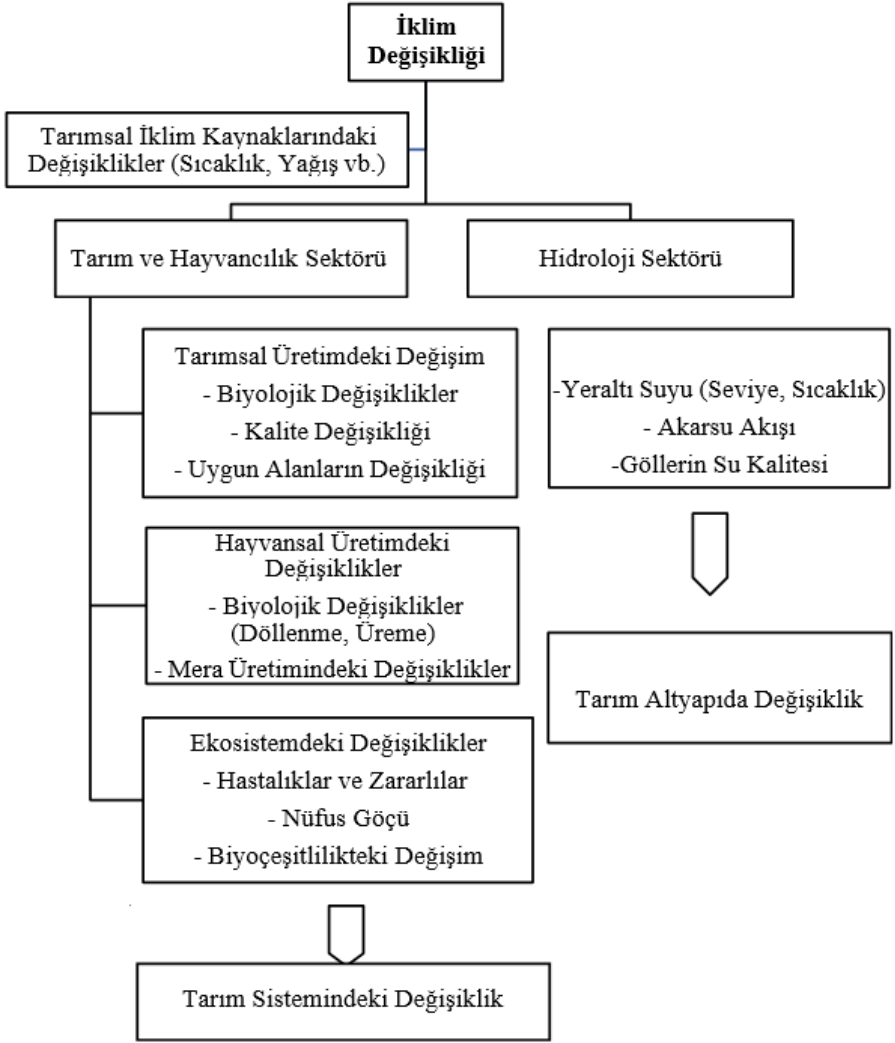
Paris Anlaşması, iklim değişikliği konusunda yasal olarak bağlayıcı bir uluslararası anlaşmadır. 12 Aralık 2015'te Paris'te 196 taraf tarafından kabul edilmiş ve 4 Kasım 2016'da yürürlüğe girmiştir. Paris Anlaşmasının amacı, Kyoto Protokolünün 2020 yılında sona ermesi nedeniyle küresel ısınmayı sanayi öncesi seviyelere kıyasla 2 °C' nin çok altında, tercihen 1.5 °C ile sınırlamaktır. Paris Anlaşması hem ilk kez bağlayıcı bir anlaşma olması hem de tüm ulusları iklim değişikliğiyle mücadele etmek ve etkilerine uyum sağlamak amacıyla ortak bir amaçta buluşturarak iklim değişikliği sürecinde bir dönüm noktası olmuştur.

Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UN environment) ve Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından 1988 yılında kurulan Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli IPCC'nin 195 Üye ülkesi bulunmaktadır. IPCC, insan faaliyetlerinin neden olduğu iklim değişikliği etkileri ve gelecekteki olası riskler hakkında düzenli bilimsel değerlendirmeler sağlamak ve ayrıca uyum ve azaltma seçeneklerini öne sürmek için kurulmuştur.

2. KÜRESEL ISINMA ve TARIM

Fosil yakıt enerjisinin kullanımı, ormansızlaşma, tarımsal faaliyetlerin artması sonucunda yayılan CO₂, hem diğer sera gazlarından daha yüksek hacimlerde yayıldığından hem de çok uzun bir süre atmosferdekaldığından, insan kaynaklı iklim değişikliğine en büyük katkıdır. Enerji sektöründen sonra tarım hem dolaylı hem dolaysız olarak küresel ısınmaya neden olan ikinci sektördür. Tarımsal faaliyetlerin sonucunda oluşan metan (CH₄) ve azot oksit (N₂O,) antropojenik iklim değişikliğine karbondioksitten (CO₂) sonra en büyük katkıdır.

Tarım, 2021 yılında toplam küresel sera gazı kaynağının yaklaşık %24'üne katkıda bulunmaktadır ve toplam insan faaliyetlerinin neden olduğu %52 metan ve %84 azot oksit küresel sera gazı emisyonlarını oluşturmaktadır.



Şekil 2: İklim Değişikliğinin Tarım Sektörü Üzerindeki Etkisinin Akışı
(Kim, Chang-Gil ve ark.,2009)

Şekil 2’de iklim değişikliğinin tarım sektörü üzerindeki etkilerinin akışında, iklim değişikliğinin tarım sektörü üzerindeki etkileri, çiçeklenme ve hasat mevsimlerinin değişmesi, ürün kalite değişikliği ve ekime uygun alanların değişmesi gibi biyolojik değişikliklerdir. Göçlerin yaşanması, biyoçeşitlilikteki değişimler iklim değişikliğinin

neden olduğu tarım ekosistemindeki değişikliklerdir. Ayrıca hayvancılık sektöründe iklim değişikliği, dölleme ve üreme gibi alanlarda biyolojik değişiklikler meydana getirmekte ve ayrıca mera üretim modellerini de etkilemektedir. İklim değişikliği, sıcaklık, yağış, buharlaşma ve toprak nem içeriği gibi aşırı hava olayları yeraltı su seviyesi ve sıcaklığı, akarsuların akışı ve göllerin su kalitesindeki gibi meydana gelen değişiklikler hidrolojiyi etkiler.

Şekil 3' de görüldüğü üzere küresel ısınmanın tarım üzerine etkisi sıcaklık, yağış ve karbondioksit (CO₂) değişimiyle birlikte yapılan araştırmalardan yola çıkarak olumlu ve olumsuz olarak sınıflandırılmaktadır. Küresel ısınmanın tarıma olumlu etkileri, atmosferdeki karbondioksit konsantrasyonunun artmasının neden olduğu gübreleme etkisi nedeniyle ürün verimliliğinin artması, tropikal ve/veya subtropikal ürünlerin üretimine uygun alanların genişletilmesi, birden çok ürün üretiminin yaygınlaşmasıdır. Ekim süresinin uzatılmasına, düşük sıcaklıkların kışlık ürün verdiği zararların azaltılmasına ve koruma altındaki ekim tesislerinde yetiştirilen tarımsal ürünlerin ısınma maliyetlerinin düşürülmesine kadar uzanmaktadır. Küresel ısınmanın olumsuz etkileri ise sıcaklıkların artmasıyla değişen büyüme periyodu nedeniyle ürün verimi ve kalitesinde azalma, tarımsal ürünlerde yabancı ot, hastalık ve zararlıların artması, organik maddelerin hızla ayrışması nedeniyle arazi verimliliğinin azalması ve yağışların artmasına bağlı erozyon olması ve toprak kayıplarının olmasıdır.



Şekil 3: Küresel Isınmanın Tarım Sektörü Üzerindeki Olası Etkileri
(Kim, Chang-Gil ve ark., 2009)

2.1. Küresel Isınmanın Tarım Uygulamalarına Etkisi

Modern tarım teknolojileri, çiftçiler tarafından verim miktarı ve kalitesi ile hayvancılık ve bitkisel üretim açısından tarımsal üretimi artırmak için kullanılan verimli modern tarım uygulamalarıdır. Tarım modernizasyonu, bilimsel yöntemlerin tarımsal üretime uygulanmasını ifade eder. Modern tarım teknolojileri, sulama, aşılama, inorganik gübreleme, pestisit ve herbisitlerin uygulanması, yeni çeşit gibi tarımsal uygulamaları kapsamaktadır. Küresel ısınmanın tarımsal uygulamalar üzerine hem pozitif hem de negatif etkisi vardır.

2.1.1. Küresel Isınmanın Tarım Uygulamalarıyla Pozitif Etkileşimi

Tarım uygulamalarının yaygın olduğu bazı bölgeler, ekolojiye bağlı olarak doğal yaşam, oksijen üretimi ve iklim gibi çeşitli olumlu çevresel etkilere sahiptir. Gübrelemenin hava üzerinde olumsuz etkisi olsa da dolaylı olumlu etkileri vardır. Tarım yapılan arazilerdeki bitkilerin fotosentez gerçekleştirmesi ile oksijen (O_2) oluşur ve atmosferdeki oksijen (O_2) miktarını artırır. Tarım alanların oksijen üretimi ormanlardan ve boş alanlardan daha fazladır.

Karbondioksit (CO_2) konsantrasyonunu etkileyen faktörler arasında bitki besin maddelerin mevcudiyeti, bitki tür ve çeşitleri, sıcaklık, yağış ve diğer çevresel faktörler yer alır (IPCC, 1996). Bununla birlikte gübreleme yapılması tarımsal verimlilikte bazı artışlara yol açabilir. Atmosferik karbondioksit (CO_2) seviyelerinin bazı bitkiler üzerindeki olumlu etkiye sahip olması, büyüme hızını artırması ve terleme oranlarının düşürmesi beklenmektedir.

Bitkiler fotosentez sistemlerine göre C_3 , C_4 ve CAM bitkileri olarak sınıflandırılabilir. Patates, çeltik, soya, buğday ve sebzeler gibi C_3 bitkileri karbondioksit (CO_2)' den fazladan faydalanabilir. Yüksek karbondioksit (CO_2) genellikle çoğu ürün üzerinde faydalı etkiye sahiptir. C_4 bitkileri çoğunlukla tropik kökenlidir ve mısır, darı, sorgum ve şeker kamışı gibi tarımsal açıdan önemli bitkiler içerir. C_4 bitkilerinin karbondioksit (CO_2) artışından daha az faydalanırken CAM bitkileri ise etkilenmesi olası değildir.

Tarımsal uygulamaların başında sulama gelmektedir. Küresel ısınmanın neticesinde yağışların artmasıyla bazı bölgelerde daha yüksek üretime ve sulama için daha fazla su sağlanabilir. Ayrıca tarımsal uygulamaların etkisiyle bitkiler daha yüksek karbondioksit (CO₂) seviyeleri altında suyu daha verimli kullanabilirler.

Küresel ısınmanın neden olduğu olumsuz iklim ve iklim koşulları, hastalık ve zararlıların artışı, toprak yapısının değişikliğiyle coğrafi bölgelere uygun yeni tohum çeşitlerin kullanılmasıyla daha yüksek tarımsal ürün elde edilmesini sağlayarak gıda güvenliğini artırmaya yardımcı olunabilir.

İklim değişikliğinin hayvancılık üzerinde de etkisi vardır. Ilıman bölgelerdeki soğuk dönemlerin yoğunluğu ve uzunluğu sıcaklıkların artmasıyla azaldığından, yem gereksinimleri azalabilir, genç hayvanların hayatta kalması artabilir ve hayvan barınaklarının ısıtılması için enerji maliyetleri düşebilir.

2.1.2. Küresel Isınmanın Tarım Uygulamalarıyla Negatif Etkileşimi

Aşırı iklim olayların sıklığındaki değişikliklere ek olarak, yağış miktarında azalma ve yüksek sıcaklık, birçok bölgede toprak neminin yanı sıra sulama için mevcut suyu azaltabilir ve birçok bölgenin sulanmayan alanlarında bitki gelişimini olumsuz yönde etkileyebilir.

Küresel ısınmanın sıcaklık ve yağışlardaki değişimler kurak ve yarı kurak bölgelerde tarımsal verim ve kalitesi için sulamanın önemi artmıştır. Yanlış ve bilinçsiz sulama uygulamalarıyla, yeraltı suların yükselmesi, tuzluluk miktarı değişimi ve kimyasal katkı maddelerinin kalıntıları sulama suyuyla birlikte derinlere inmekte bu da su kaynaklarında zararlı bileşenlerin birikmesiyle sadece toprak erozyonuna değil aynı zamanda tüm canlılar üzerinde hastalık ve zararlı etkilere yol açmaktadır. Aşırı sulama ile kullanılabilir su kaynaklarında azalma, toprak tuzluluğu ve çölleşmeye neden olur.

Bazı coğrafi bölgelerde bazı topraklarda, toprak organik maddesinin kaybı, toprak besin maddelerinin sızması, tuzlanma ve erozyon gibi toprak üzerindeki değişiklikler iklim değişikliğinin muhtemel sonucudur. Bitki büyümesini iyileştirmek, verim ve kaliteli ürün alabilmek, toprağın kimyasal, fiziksel ve biyolojik yapısı için aşırı ve yanlış gübre kullanım durumunda topraktaki fazla gübre yıkanarak yeraltı sularına, içme sularına ve denize geçmesiyle canlı türlerinde azalma ve doğal ekosistemde bozulmalara neden olmaktadır.

Doğal ekosistemde, sıcaklık ve yağış profilindeki değişimlerle yabancıot, hastalık ve zararlılarda yeni türler ortaya çıkabilir. Tarım uygulamalarında çeşitli kimyasallar ve pestisitlerin kullanımının yayılmasıyla, tarımsal gıdalarda sorunlara neden olarak hem insan sağlığı hem de doğal dengeyi etkileyerek dolaylı olarak küresel ısınmanın da içinde bulunduğu bir çevre sorunu haline gelmektedir (Patterson ve ark., 1999; Satoğlu ve ark., 2007; Altıkat ve ark., 2009; Altınok ve ark., 2019; Kaçar ve Koca 2020).

Hayvancılık üretimi yapan işletmelerde, çiftlik ve kümes hayvanlarının atıkları ve hayvansal ürün işleme atıkları organik atıkları oluşturur. Herne kadar atıklar organik de olsa çevre üzerinde koku ve gaz etkilerinin yanı sıra toprağa ve akarsulara bulaşarak tarımdan kaynaklanan sera gazlarının artmasında önemli rol oynamaktadır.

2.2. Küresel Isınmanın Tarım Ekosistemi Üzerine Etkisi

Çevre kirliliğine, küresel ısınmaya ve iklim değişikliğine neden olabilecek zararlı antropojenik sera gazı emisyonlarının ana nedeni atmosferdeki karbondioksitin (CO₂) artmasıdır. Sera gazı emisyonlarının yoğunluğu toprağa, hava koşullarına, ürünlerin biyolojisine ve tarım uygulamalarına bağlıdır. Sera gazı yoğunluğunun artışı, tarımsal ekosistem ve toplum refahını olumsuz etkilemesi beklenmektedir.

Biyolojik çeşitliliği sürdüren alanlar, genel olarak çevresel değişime karşı çok daha dirençlidir ve tarımsal üretimi arttırır (Winfrey ve Kremen, 2009). Öte yandan, doğal ekosistemin bozulması, su mevcudiyetini, toprak oluşumunu ve enerji ve besin akışını depolama ve düzenleme kapasitelerini azaltır (Bommarco, Vico ve Hallin, 2018; Georg, Requiere ve Fijen, 2018).

Küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliğinin sonucunda ekosistem içerisinde bulunan canlı popülasyonunda değişim beklenmektedir. Küresel ısınmadaki aşırı hava olayların neticesinde ekosistemdeki yaşam alanları daralmaktadır böylece hem bitki hem hayvan

türlerinde azalma meydana gelmektedir ayrıca yaşam alanlarının kuzeye doğru kayması ile popülasyondaki türlerin yeni yaşam alanlarına uyum sağlayamayarak yok olmayla karşı karşıyadır (Rubenstein, 1992).

Küresel ısınma nedeniyle, mikroorganizma ve diğer canlı faaliyetlerindeki artışla topraktaki organik madde miktarında azalma görülür. Toprakta organik madde miktarının azalması, toprağın tekssel yapıya geçişini hızlandırmakta, havalanma, ısınma ve su emme kapasitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Toprakta küresel ısınma nedeniyle sadece organik madde kaybı olmaz aynı zamanda artan sıcaklık ile kuraklık ve yoğun yağışların etkisiyle erozyon meydana gelir (Melillo ve ark., 2002).

Tarımsal üretimin temeli olan toprak, su veya rüzgâr erozyonu yoluyla toprak erozyonu, toprağın verimli bir şekilde üretme kapasitesini azaltır. Hem doğal hem de antropojenik çeşitli süreçler toprağı bozar. Bu süreçler arasında erozyon, sıkıştırma, tuzlanma, zehirlenme ve organik madde kaybı yer alır. Bunlardan toprak erozyonu, iklim değişikliğinden en doğrudan ve en yaygın olanıdır. Aşırı erozyon toprak verimliliğini azaltır, toprak organik karbon ve besin maddelerinin kaybını artırır ve toprak verimliliğini azaltır.

Küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliğiyle, doğal ve insan faaliyetlerinin neden olduğu aşırı hava olaylarının neticesinde deniz seviyesinde yükselme görülerek kıyı kesimler su altında kalacaktır bu da zorunlu göç ve tarım arazilerinin yok olmasına neden olacaktır.

2.3. Küresel Isınmanın Tarımsal Üretime Etkisi

Bitkisel ve hayvansal üretim, canlıların yaşamlarını sürdürebilmesi ve dünya nüfusunun hızla artmasıyla birlikte yeterli beslenme için sürekli olarak daha fazla gıda üretimine ihtiyaç vardır. Gıda üretimindeki hızlı ve sürekli artış üretim ve gıda güvenirliliğinde bozulmaları artırmaktadır. İklim değişikliğine atfedilen aksaklıkların yanı sıra yabancı otlar, hastalık ve zararlıların artmasından kaynaklanan dolaylı etkiler hesaba katılmamaktadır. İklim değişikliğinin bitkisel üretim üzerindeki etkileri, artan karbondioksitin (CO₂) etkisi altında olumlu, artan sıcaklıkların etkisiyle olumsuz, yağış zamanına ve miktarına göre değişkenlik gösterebilir (Hatfied ve ark., 2011; Wathall, 2012). Yükselen karbondioksitin (CO₂) bitki verimliliği üzerine etkisi, yeterli ve temiz su kaynaklarının kullanılmasıyla verimliliğin üzerine de genellikle olumludur (Hatfied ve ark., 2011).

Küresel ısınmayla hem biyotik ve abiyotik stres hem de artan sera gazının etkisiyle nem, sıcaklık, yağış ve buharlaşma gibi aşırı hava olayları gerçekleşerek, bitkisel ve hayvansal üretimlerde kayıpların olması beklenmektedir.

Yükselen sıcaklıkla, bitkilerin biyolojik gelişimlerini hızlandırarak çoğu bitkinin büyüme döngüsünün zamanını kısaltacaktır. Fenoloji üzerindeki etkiler hem çevreye göre hem de türler arasında değişir. Çokyılık bitkiler, tek yıllık bitkilere göre daha yüksek sıcaklığı daha güçlü tepkiler verebilir (Estrella ve ark., 2007). Sıcaklık, ozon

kontrasyonları ve kuraklıktaki artışla beraber bitkilerin yaşam döngülerinin kısılmasının yanı sıra ürün verimlerinde de düşüş görülmektedir.

Sıcaklık, karbondioksit (CO₂) ve ozon (O₃) dünyada farklı iklim koşullarında yetiştiriciliği yapılan meyve ve sebzelerin üretimini ve kalitesini doğrudan ve dolaylı olarak etkilemektedir. Sıcaklık değişimi ürün fotosentezini doğrudan etkileyebilir ve küresel sıcaklık artışı şeker, organik asitler, antioksidan bileşikler sertlik gibi önemli kalite parametrelerini değiştiren hasat sonrası kalite üzerinde önemli bir etkiye sahip olması beklenir. Artan karbondioksit (CO₂) seviyeleri, yumruda şekil anormalliklerin artmasına ve patatesteki şeker miktarının artmasına protein ve mineral içeriğinin azalmasına neden olarak kalite kaybına yol açabilir. Atmosferdeki artan ozon (O₃) seviyeleri, meyve ve sebze ürünlerinin hasat sonrası kalite üzerine zararlı etkiler yol açabilir ayrıca kalite parametrelerin yanı sıra kuru madde içeriğinde değişiklikler ve farklı türlerde fizyolojik bozuklukları tetikleyebilir(Moretti ve ark., 2010).

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde ayırım yapılmaksızın yağışlarla yetiştirilen tarımsal ürünler hem yağışa hem de sıcaklığa bağlı iken, sulama sistemleri ile yetiştirilen tarım ürünleri sadece sıcaklık değişimlerinden etkilenmiştir. Gelişmiş ülkelerde karbondioksit fertilizer etkisi göz ardı edildiğinde 2050 yılında sulama sistemi ile yetiştiriciliği yapılan çeltik ve buğdayda ürün kaybı en fazla beklenmektedir. Gelişmiş ülkelere göre ortalama olarak iklim değişikliğinden daha az

etkilendikleri ve küresel ısınmayla gelişmiş ülkelerde bazı tarım ürünleri miktarına olumlu etki beklenmektedir (IFPR, 2009).

İklim değişikliğinin neden olduğu kuraklık stresi tahılların tüm gelişim aşamalarında etkilidir, ancak tane oluşumu ve üreme aşaması en kritik olanlardır. Buğday verimi, çiçeklenme sonrası hafif kuraklık stresi sırasında %1'den %30'a düşerken, çiçeklenme ve tane oluşumunda uzun süreli hafif kuraklık stresi durumunda bu azalma %92'ye kadar çıkmıştır [49,50]. Tahılların yanı sıra önemli baklagillerin verimini büyük ölçüde azaltmıştır.

Küresel ısınmayla yükselen sıcaklıkla, kış mevsiminde örtü altı yetiştiricilik yapılan yerlerde seraların ısıtılmasında enerji tasarrufuyla üretimin artması, enerji kaynaklı karbondioksitin (CO₂) salınımının azalması ile çevreye ve ekonomiye olumlu katkısı beklenmektedir.

2.4. Küresel Isınmanın Tarım Ekonomisine Etkisi

Küresel ısınmayla, sıcaklık, yağış, nem ve buharlaşma gibi hava olaylarının yerel ve bölgesel olarak görülme sıklığında bir değişim beklenmektedir. Tarım sektöründe aşırı hava olayları potansiyel ekonomik etkilerin bir ölçüsü ve iklim şartları değiştiğinde bu tür etkilerin artıp atmadığına dair bir göstergedir. Aşırı hava olayların yanı sıra yabancı otların, hastalık ve zararlıların artması ve artan tarımsal faaliyetler ile tarımsal üretimde ürün kayıpları gerçekleşerek gıda güvencesinde birçok ürün tehdit altında kalacak böylece dünya tarım ekonomisinde gerileme olacaktır.

Dünyada küresel ısınmanın etkisiyle, bölgesel ve mevsimsel farklılıklarla birlikte biyoçeşitlilik, tarım arazileri ve bitkisel ve hayvansal ürün miktarında artış ya da azalış görülerek ekonomide değişikliğe neden olacaktır. Ayrıca küresel ısınmayla beraber su kaynaklarında azalma, sel ve su baskınlarında artma, kuraklık ve çölleşmeye bağlı ekosistemde bozulmalarla sosyoekonomik sorunlar ortaya çıkması beklenmektedir.

Küresel ısınma, ham maddesini tarımsal ürünlerinden kullanan tarıma dayalı sanayileri etkileyerek, ürün kaybıyla ham madde temini güçleşecek ve ürün tedarikinde daha fazla maliyete neden olacaktır. Artan maliyetle birlikte tüketici, işlenen ürünlerin daha yüksek fiyatlarıyla karşı karşıya kalacaktır.

Gelişmekte olan ülkeler ve gelişmiş ülkeler karşılaştırıldığında gelişmekte olan ülkeler gelişmiş olan ülkelere nazaran ekonomik olarak küresel ısınmanın sonuçlarından daha çok etkilenecektir.

SONUÇ

Günümüzde dünya nüfusunu hızla artmaya devam ederken, dünyadaki tüm canlılar gıda ve enerji kıtlığı, iklim değişikliği, kentsel büyüme, çevresel bozulma ve doğal afetlerle ilgili zorluklarla karşı karşıyadır. Bugün baktığımızda tüm dünya, gıda arzının dünya nüfusunun karşılayamayacağı farkındadır.

Küresel ısınmanın tarım ve gıda güvenirliliği üzerine olumsuz etkilerini azaltabilmek için öncelikle tarım sektörü üzerindeki sosyoekonomik etkiler belirlenmeli, tarım alanlarının sürdürülebilir olarak kullanılmalı, sürdürülebilir tarım uygulamaları yaygınlaştırılarak tarımsal uygulamalar kontrol altına alınmalı ve toprak ve su kaynaklarının korunması sağlanmalıdır. Bunların yanı sıra tarımsal faaliyetlerinde fosil yakıt tüketimi sınırlandırılarak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı teşvik edilmesi gereklidir.

Tarım sektöründe küresel ısınma değişikliğine karşı alınacak önlemler de çoğunlukla sera gazı emisyonuna azaltımına odaklanmıştır. Ancak küresel ısınmanın kaçınılmaz olmasıyla tarım sektörü için iklim değişikliğine karşı alınacak önlemler, iklim değişikliğini en aza indirmek ve bunun bir fırsat olarak değerlendirmek olduğunun anlaşılması gerekmektedir.

Küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliğinin bir sonucu olarak bazı ülkelerde tarımsal ürün artışı beklenilirken, bazı ülkelerde ise aksine tarımsal ürün kaybı olacaktır bu da tarım ekonomisini olumlu ve olumsuz olarak etkileyecektir. Tarım sektöründeki bu değişiklikler dünya ekonomisini de dolaylı olarak etkileyecektir.

Küresel ısınmanın tarım sektörü üzerindeki etkisinin bilimsel olarak araştırılması ve değerlendirilmesi, gelecekteki tarım vizyonunun ve tarım yönetiminin yönünün belirlenmesi için hem ulusal hem de uluslararası öneme sahiptir.

KAYNAKÇA

- Altıkat, A., Turan, T., Torun, F. E., & Bingül, Z. (2009). Türkiye’de pestisit kullanımı ve çevreye olan etkileri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 40(2), 87-92.
- Altınok, H. H., Altınok, M. A., & Koca, A. S. (2019). Modes of action of entomopathogenic fungi. *Curr. Trends Nat. Sci*, 8(16), 117-124.
- Bommarco, R., Vico, G. & Hallin, S. (2018). “Exploiting Ecosystem Services in Agriculture for Increased Food Security.” *Global Food Security* 17: 57–63. doi:10.1016/j. gfs.2018.04.001.
- EEA, 2017. Climate Change, Impacts and Vulnerability in Europe 2016: An Indicator – Bsed Report, No.1/2017, Luxembourg: EEA.
- Ersoy, Ş. (2006). “Küremiz Isınıyor”, *Bilim ve Ütopya Dergisi*, Yıl: 12, Sayı: 139, Ocak 2006.
- Estrella, N., Spark, T.H. & Menzel, A. (2007). Trends and Temperature Response inThe Phenology of Crops in Germany. *Glob Change Biol* 13:1737–1747.
- Georg, L. A. G., Requier, A.F. & Fijen, T. (2018). Complementarity and Synergisms among Ecosystem Services Supporting Crop Yield. *Global Food Security* 17:38–47. doi: 10.1016/j.gfs.2018.03.006.
- Hatfield, J.L., Boote K.J, Kimball B.A, Ziska L.H, Izaurralde R.C, Ort D., Thomson, A.M. & Wolfe, D.W. (2011) Climate İmpacts on Agriculture: Implications for Crop Production. *Agron J* 103:351–370.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 1996. Climate change 1995: Impacts, adaptations and mitigation of climate change: Scientific-Technical Analyses. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Reportof the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Izaurralde, R.C., Thomson, A.M., Morgan, J.A., Fay, P.A., Polley, H.W. & Hatfield, J.L. (2011) Climate Impacts on Agriculture: Implications for Forage and Rangeland Production. *Agron J* 103:371–380.
- Kaçar, G., Koca, A. S. (2020). Bolu ili kiraz ve vişne bahçelerinde belirlenen zararlı ve faydalı türler. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 6(3), 435-443.

- Kim, Chang-Gil and et al. (2009). Impacts and Countermeasures of Climate Change in Korean Agriculture. (In Korean). Research Report No. 593. Korea Rural Economic Institute.
- Melillo, J. M., Steudler, P. A., Aber, J. D., Newkirk, K., Lux, H., Bowles, F. P., Catricala, C., Magill, A., Ahrens, T., & Morrisseau, S. (2002). Soil Warming and Carbon-Cycle Feedbacks to the Climate System. *Science*, 298, 2173-2176.
- Moretti, C.L., Mattos, L.M., Calbo, A.G. & Sargent, S.A. (2010) Climate Changes and Potential Impacts on Postharvest Quality of Fruit and Vegetable Crops: A Review. *Food Res Int* 43:1824–1832.
- Özmen, T. (2009). Sera Gazı, Küresel Isınma ve Kyoto Protokolü, *THM-453-2009/1*: 42-46.
- Patterson, D. T., Westbrook, J. K., Lingren, P. D., & Rogasik, J. (1999). Weeds, insects, and diseases. *Climatic change*, 43(4), 711-727.
- Rubenstein, D. I. (1992). The Greenhouse Effect and Changes in Animal Behavior: Effects on Social Structure and Life-History Strategies. In *Global Warming and Biological Diversity*. Yale University Press. p. 180-192.
- Sataloğlu, N., Aydın, B., & Turla, A. (2007). Pestisit zehirlenmeleri. *TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni*, 6(3), 169-74.
- Soyсал, S. ve Yılmaz, A. (2021) Mikorizal Fungusların (MF) Tarla Bitkilerinde Kullanımı. G. Bengisu (Ed) Akademik Perspektiften Tarım'a Bakış (173-192. ss.). Adıyaman; Turkey: İKSAD. <https://iksadyayinevi.com/home/akademik-perspektiften-tarima-bakis/>
- Şaylıkay, M., 2010. “Küresel Isınma, Enerji Senaryoları ve Türkiye'nin Rolü”, Akademik Bakış Dergisi, Sayı: 19, Ocak-Şubat-Mart 2010, İktisat ve Girişimcilik Üniversitesi, Türk Dünyası Kırgız-Türk Sosyal Bilimler Enstitüsü, Celalabat-Kırgızistan.
- Walthall, C.L., Hatfield, J., Backlund, P., Lengnick, L., Marshall, E., Walsh, M., Adkins, S., Aillery, M., Ainsworth, E.A., Ammann, C., Anderson, C.J., Bartomeus, I., Baumgard, L.H., Booker, F., Bradley, B., Blumenthal, D.M., Bunce, J., Burkey, K., Dabney, S.M., Delgado, J.A., Dukes, J., Funk, A.,

- Garrett, K., Glenn, M., Grantz, D.A., Goodrich, D., Hu S, Izaurralde, R.C, Jones, R.A.C., Kim, S-H., Leaky, A.D.B., Lewers, K., Mader, T.L., McClung, Morgan, A., Muth, J., Nearing, D.J., Oosterhuis, M., Ort, D.M., Parmesan, D., Pettigrew, C., Polley, W.T., Rader, W., Rice, R., Rivington, C., Rosskopf, M., Salas, E., Sollenberger, W.A., Srygley, L.E., Stöckle, R., Takle, C., Timlin, E.S., White, D., Winfree, J.W., Wright-Morton, R., L. ve Ziska L.H. (2012) Climate Change and Agriculture in the United States: Effects and Adaptation. USDA Technical Bulletin 1935, Washington, DC, p 186.
- Winfree, R., and Kremen, C. (2009). Are Ecosystem Services Stabilized by Differences among Species? A Test Using Crop Pollination. Proceedings of the Royal Society B 276: 229–237. doi:10.1098/rspb.2008.0709.
- Yılmaz, A. ve Soysal, S. (2021) The Necessity of Autonomous Systems in Agriculture. A. Çelik, K. Bellitürk ve M.F. Baran (Ed) Agricultural Researches Resourcebook (301-322. ss.). Adıyaman; Turkey: İKSAD. <https://iksadyayinevi.com/home/agricultural-researches-resourcebook/>
- Yılmaz, A., Soysal, S., Emiralioğlu, O., Yılmaz, H., Soydemir, H. E. ve Çiftçi, V. (2021) Sürdürülebilir Tarımda Anıza Ekimin Önemi. M.F. Baran, K. Bellitürk ve A. Çelik (Ed) Türkiye’de Sürdürülebilir Tarım Uygulamaları: Zorluklar ve Potansiyeller (221-230. ss.). Adıyaman; Turkey: İKSAD. <https://iksadyayinevi.com/home/turkiyede-surdurulebilir-tarim-uygulamalari-zorluklar-ve-potansiyeller/>
- URL-1. <https://www.visualcapitalist.com/cp/a-global-breakdown-of-greenhouse-gas-emissions-by-sector/>. Erişim Tarihi: 05.01.2022.

BÖLÜM 11

NUTRİGENOMİK: KANATLI HAYVANLARDA BESİN - GEN EKSPRESYONU İLİŞKİSİ

Araş. Gör. Yusuf Talha İÇOĞLU^{1*}

Dr. Öğr. Üyesi Hayriye SOYTÜRK²

^{1*} Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Kanatlı Hayvan Yetiştiriciliği Bölümü, Bolu, Türkiye. yusuf_talha21@outlook.com

² Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Kanatlı Hayvan Yetiştiriciliği Bölümü, Bolu, Türkiye. hayriyesoyturk1@gmail.com

GİRİŞ

Kanatlı hayvan yetiştiriciliği diğer çiftlik hayvanları yetiştiriciliğine göre birçok parametre açısından daha ileri seviyededir. Canlı ağırlık artışı, yemden yararlanma oranı, yem tüketimi, yetiştirme süresi, gıda ürünleri talebi bu parametrelerden bazılarıdır. Kanatlı hayvan yetiştiriciliğinin bu faktörlerde büyük ilerlemeler kaydetmesi bu alanda geçmişten günümüze yapılan birçok besleme, yetiştirme ve ıslah çalışmaları sonucunda olmuştur. Ayrıca tüketicilerin kanatlı ürünlerine talebinin gittikçe artması bu alanda üretimin artırılmasını teşvik etmiştir.

Son yıllarda yapılan araştırmalar sonucu, beslenme, genler ve hastalıklar arasındaki ilişkiler ortaya konmuş ve tüketilen besinlerin genler ve transkripsiyonun ürünü proteinler üzerine etkilerinin incelenmesini hedefleyen yeni bir bilim dalı olan “nutrigenomik” ortaya çıkmıştır. Bu doğrultuda, klasik beslemenin dışına çıkılarak, nutrigenomik ve nutrigenetik bilimlerinden de yararlanmak suretiyle beslenme ile genetik faktörler arasındaki ilişki ve bu ilişkinin sağlık, performans, immunsistem ve antioksidan sistemler üzerindeki etkileri araştırılmaya başlanmıştır (Loor vd., 2015). Bu araştırmalar sonucunda rasyonda bulunan besin maddelerinin hayvanlardaki biyolojik sistem, metabolizma ve doku ile ilgili genler üzerindeki etkisi açıklanabilecektir.

Yapılan besleme çalışmalarında genellikle besin maddesi eksiklik veya fazlalıkları denenmiş ve sonuç olarak canlı ağırlık, canlı ağırlık artışı, yem tüketimi ve yemden yararlanma parametreleri dikkate alınarak

sonuçlar rapor edilmiştir. Yapılan bu çalışmalar sonucunda kanatlılar için besin içeriği en iyi olan rasyonlar hazırlanarak besleme yapılması amaçlanmıştır. Buna rağmen günümüzde istenilen verim ve sağlık performansları yeterli düzeylere ulaşamamıştır. Bunun nedenlerinden biri çalışmaların fenotipik çıktılar üzerinden değerlendirilmiş olmasıdır. Günümüzde gelişen teknoloji ve yöntemlerle besleme çalışmalarında kullanılan besin maddelerinin gen ekspresyonları üzerine etkileri ve bu etkilerin fizyolojik süreçler üzerinde etkilerinin araştırılması ve meydana getirdiği değişiklikler analiz edilebilmekte, bunun sonucunda besin – gen ekspresyonu ilişkisi ortaya konulabilmektedir.

1. OMİK TEKNOLOJİLERİ

İlk kez Della Penna tarafından kullanılan nutrigenomik ifadesi; gen ekspresyonları üzerinde besin maddelerinin etkilerini açıklayan bilim dalı olarak tanımlanmıştır (Della Penna, 1999; ner ve ark. 2012). Nutrigenomięin anlaşılabilmesi için üç yardımcı çalışma alanı kullanılmaktadır. Bu uygulamalar “omik” olarak adlandırılmaktadır. Transkriptomik, proteomik ve metabolomik canlı vücudundaki gen dizilimlerini, gen ekspresyonunu, protein sentezi ve tüm metabolik ilişkileri inceleyen araştırma dallarıdır (Dawson, 2006). Transkriptomik, belirli bir grup gen veya tüm genler ile dokudaki RNA miktarı ilişkisinin açıklanmasını sağlamaktadır (Zduńczyk ve Parcek, 2009). Northern blotting, RT-PCR (Reverse Transcription Polimerase Chain Reaction) veya SAGE (Serial Analysis of Gene Expression) teknikleri transkriptomik alanında kullanılan, gen ekspresyon düzeylerinin

belirlenmesine yardımcı olan tekniklerdir (Öner ve ark., 2012). Diğer bir teknik ise mikroarraylerdir. Microarraylerin çok fazla sayıda gen ekspresyonunu aynı anda tespit edebilmeleri diğer tekniklere göre bu tekniği avantajlı kılmaktadır (Dawson, 2006; Zduńczyk ve Parcek, 2009). Microarrayler yeni genleri ve bu genlerin beslenme ile olan ilişkisini açıklamada kullanılan önemli bir tekniktir (Lehnert ve ark., 2007). Proteomik; belirli dokuda organda ya da hücre bulunan proteinlerin tespit edilmesini sağlamaktadır (Banks ve ark., 2000). Proteom ifadesi ilk olarak 1994'te Marc Wilkins tarafından kullanılmıştır (Picard ve ark., 2010). Bir proteinin farklı izoformları, glikolizasyon, fosforilizasyon ve proteolitik parçalanmalar gibi translasyon sonrası oluşumlar, alternatif mRNA bağlantıları sonrası değişen molekül ağırlıkları ve izoelektrik noktalarının belirlenmesinde proteomik tekniğinden yararlanılmaktadır (Bouley ve ark., 2005). Bir hücre, doku veya organizmadaki tüm metabolitlerin tanımlanması ve miktarlarının belirlenmesinde metabolomik tekniği kullanılır (Müller ve Kersten, 2003; Whitfield ve ark., 2004). Metabolomik çalışmalarında yüksek performanslı likit kromatografi (HPLC), bilgisayar destekli yüksek teknolojili nükleer manyetik rezonans (NMR), gaz kromatografi (GC) ve kütle spektrometresi cihazları kullanılmaktadır (CorthesyTheulaz ve ark., 2005). Metabolomik çalışmaların artması için ileri düzeyde makineleşme ve elde edilen verilerin doğrulanması için geniş bir veritabanına ihtiyaç duyulmaktadır (German ve ark., 2004; Whitfield ve ark., 2004). Çiftlik hayvanlarında metabolomik çalışmaların yeteri kadar yapılmamasının nedenleri; hayvanlarda çok fazla hastalığın bulunmaması sebebiyle ve

bu alana yeterli finansal desteğin aktarılmaması olarak sıralanabilir. Ancak günümüzde konvansiyonel hayvancılık hızla artmasına bağlı olarak yetiştiricilik sürecinde hastalık çok fazla hayvana kısa sürede buluşarak ciddi ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Ayrıca hayvan ölümüne sebep olmasada verimi etkileyen beslemeye bağlı birçok metabolik hastalık görülmektedir (Kutzer ve ark., 2003). Omik teknolojiler fenotipik değişikliklerin moleküler düzeyde açıklanmasını sağlar (Öner, Y., 2012). Yemlerin ve içerdikleri besin maddelerinin verim ve sağlık üzerine etkilerinin doğrudan tespiti çok zordur. Günümüzde gelişen transkriptomik teknolojisi sayesinde genler ile besin maddeleri arasındaki ilişki rahatlıkla belirlenebilmektedir.

2. KANATLILARDA OMİK TEKNOLOJİSİ ÇALIŞMALARI

Broiler anaç tavuk rasyonlarına mineral madde ve vitamin ilavesi civcivlerin bağırsak yapısında bulunan en az 11 adet genin ekspresyon seviyesini değiştirmiştir. Ekspresyon seviyesi yüksek olan genlerin bağırsak hücrelerini yenileyen ve çoğaltan genler, ekspresyon seviyesi düşük olan genlerin de metabolizmayı düzenleyen genler oldukları tespit edilmiştir. Rasyona yapılan mineral ve vitamin ilavesinin civcivlerin bağışıklık sistemi, metabolizması, besin madde emilimi ve bağırsak gelişimi üzerinde etkili olabilecek bazı genlerin ekspresyon düzeyini etkilediği sonucuna ulaşılmıştır (Rebel ve ark., 2006).

Damızlık broiler piliçlerde yapılan bir besleme çalışmasında kontrol ve rasyona inulin (5 g kg^{-1}) ilave edilen muamele grupları oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında karaciğerdeki gen ekspresyon düzeyleri incelenmiş ve 148 gen içerisinde 104'ünün ekspresyon seviyesinin

arttığı, 44'ünün ise azaldığı belirlenmiştir. Mikroarray yöntemi kullanılarak bazı genlerin (ITIH5, DIO2, GIMAP5, USP18, KIAA1754, CCDC79) RT-PCR ile doğrulaması yapılmıştır (Sevan, 2014). Damızlık broiler piliçler üzerinde yapılan bir başka çalışmada serbest ve kısıtlı yemleme uygulamasının piliçlerin yumurtalıklarındaki IGF-1, IGF-2, IGF Reseptörü (IGF-R), iki IGF bağlayıcı proteinler (IGFBP-2 ve IGFBP-5), Büyüme Hormonu Reseptörü (BHR) ve İnsülin Reseptörü (IR)'nün gen ekspresyon seviyeleri 4., 8., 12. ve 16. haftalık yaşlarda RT-PCR ile tespit edilmiştir. Yaşa bağlı büyüme görülmesine rağmen mRNA transkriptlerinde beslemeye bağlı önemli bir değişiklik tespit edilememiştir. Büyüme Hormonu (BH) Reseptörü'nün ekspresyon düzeyinin 8 haftalık yaşta azalmasının haricinde, yaştan da mRNA transkriptlerine etkisi olmadığı gözlemlenmiştir (Heck, 2003). Bir başka çalışmada rasyonlarına farklı oranlarda fitosterol ve hidroksi fitosterol ilave edilen etlik piliçlerde (Ross308) kas dokusundaki gen ekspresyon seviyeleri incelenmiştir. Myogen, eIF4E, mTOR ve S6k1 genlerinin ekspresyon seviyelerinin arttığı, myostatin (GDF-8) ve ubiquitin genlerinin ekspresyon seviyelerinin azaldığı tespit edilmiştir (Naji, 2014).

Etlik piliçler üzerinde yapılan bir çalışmada rasyona ilave edilen Karvakrol (5 mg kg^{-1}), Capsicum oleoresin (2 mg kg^{-1}) ve Sinamaldehit'in (3 mg kg^{-1}) ince bağırsakta bulunan genlerin ekspresyon seviyesi üzerine etkisi mikroarray ile incelenmiştir. Kontrol grubuna göre Karvakrol ilave edilen grupta 72 genden 26'sının ekspresyon seviyesinin arttığı ve 48'inin azaldığı, Sinamaldehit ilave

edilen grupta 62 genden 31'inin arttığı ve 31' ini azaldığı tespit edilmiştir. Capsicum oleoresin eklenen grupta ise 98 gende azalma ve 156 gende artma olduğu tespit edilmiştir. Mikroarray sonucu bazı genlerin (CD247, CD74, TSN, FADD, CDK5RAP2, CDC5L, UBE2I) RT-PCR ile doğrulaması yapılmıştır (Kim D. Kim. ve ark 2010).

SONUÇ

Sağlanan bu bilgi birikimi beslenme uzmanlarının kısa ve orta sürede besin maddesi sensör mekanizmalarını açıklamalarına, besin maddesi etkileşimlerini belirlemelerine ve genler ile sinyal yol izleri arasındaki interaksyonu bulmalarına olanak sağlayacaktır. Gelecekte ise beslenme kaynaklı hataların azaltılmasına, hayvan sağlığının iyileştirilmesine, performansın geliştirilmesine katkı sağlayacak olan gen ekspresyon bilgilerini rasyon hazırlama sistemlerine dahil ederek, genotip ile uyumlu besleme programlarının oluşturulması mümkün hale gelecektir (Go vd., 2005). Diğer bir deyişle, canlının üretkenliği ve sağlık düzeyini maksimum seviyeye çıkarmak için canlının genetik şifresine uygun olan besleme uygulamaları geliştirilecektir (Müller ve Kersten, 2003). Bundan sonra yapılacak tüm besleme çalışmalarında gelişen teknoloji ve yöntemler kullanılarak fenotipik çıktılarının yanı sıra fizyolojik yollarla oluşan değişimlerde incelenmeli, elde edilen veriler yorumlanarak yeni besleme yöntemleri geliştirilmelidir. Kanatlı türlerinden broilerde yakalanan başarı diğer kanatlı türlerinde de sağlanmalıdır. Yapılacak çalışmalarda elde edilen numuneler gerekli şartlarda saklanarak ileride yapılacak veri analizleri için kullanılmalıdır.

KAYNAKÇA

- Banks, R. E., Dunn, M. J., Hochstrasser, D. F., Sanchez, J. C., Blackstock, W., Pappin, D. J. ve Selby, P. (2000). Proteomics: New perspectives, new biomedical opportunities. *Lancet*. 356: 1749-1756.
- Bouley, J., Meunier, B., Chambon, C., De Smet, S., Hocquette, J. F. ve Picard, B. (2005). Proteomic analysis of bovine skeletal muscle hypertrophy. *Proteomics*. 5: 490-500.
- Corthesy-Theulaz, I., den Dunnen, J. T., Ferre, P., Geurts, J. M. W., Muller, M., van Belzen, N. ve van Ommen, B. (2005). Nutrigenomics: The impact of biomics technology on nutrition research. *Ann. Nutr. Metab.* 49: 355-365.
- Dawson, K. A. (2006). Nutrigenomics: feeding the genes for improved fertility. *Animal Reprod. Sci.* 96: 312-322
- DellaPenna, D. (1999). Nutritional genomics: manipulating plant micronutrients to improve human health. *Science* 285:375-379
- German, J. B., Bauman, D. E., Burrin, D. G., Failla, M. L., Freake, H. C., King, J. C., Klein, S., Milner, J. A., Pelto, G. H., Rasmussen, K. M. ve Zeisel, S. H. (2004). Metabolomics in the opening decade of the 21st century: Building the roads to individualized health. *J. Nutr.* 134: 2729-2732.
- Go, V. L. W., Nguyen, C. T. H., Harris, D. M. ve Lee, W. N. P. (2005). "Nutrient-Gene Interaction: Metabolic Genotype-Phenotype Relationship", *J. Nutr.*,135(12), 3016-3020.
- Guernec, A., Chevalier, B. ve Duclos, M. J. (2004). Nutrient supply enhances both IGF-I and MSTN mRNA levels in chicken skeletal muscle. *Domestic Animal Endocrinology* 26, 143–154.
- Heck, A., Metayer, S., Onagbesan, O. M. ve Williams, J. (2003). mRNA expression of components of the IGF system and of GH and insulin receptors in ovaries of broiler breeder hens fed ad libitum or restricted from 4 to 16 weeks of age. *Domestic Animal Endocrinology* 25, 287–294.
- Kim, D. K., Lillehoj, H. S., Lee, S. H., Jang, S. I. ve Bravo, D. (2010). High-throughput gene expression analysis of intestinal intraepithelial lymphocytes

- after oral feeding of carvacrol, cinnamaldehyde, or Capsicum oleoresin. *Poultry Sci.* 89 :68–81.
- Kutzer, T., Leeb, T. ve Brenig, B. (2003). Current state of development of genome analysis in livestock. *Curr. Genomics* 4: 487-525.
- Lehnert, S. A., Reverter, A., Byrne, K. A., Wang, Y., Natrass, G. S., Hudson, N. J. ve Greenwood, P. L. (2007). Gene expression studies of developing bovine longissimus muscle from two different beef cattle breeds. *BMC Develop. Biol.* 7: 95-107.
- Liu, Y., Guo, Y., Wang, Z. ve Nie, W. (2007). Effects of source and level of magnesium on catalase activity and its gene expression in livers of broiler chickens, *Archives of Animal Nutrition.*, 61:4, 292-300.
- Lu, L., Luo, X. G., Ji, C., Liu, B. ve Yu, S. X. (2007). Effect of manganese supplementation and source on carcass traits, meat quality, and lipid oxidation in broilers. *J. Anim. Sci.*, 85:812–822.
- Loor, J. J., Vailati-Riboni, M., McCann, J. C., Zhou, Z. ve Bionaz, M. (2015). “Nutrigenomics in Livestock: Systems Biology Meets Nutrition”, *Journal of Animal Science*, 93(12).
- Müller, M. ve Kersten, S. (2003). Nutrigenomics: goals and strategies. *Nat. Rev. Genet.* 4: 315-322
- Naji, T. A. A., Amadou, I., Zhao, R. Y., Tang, X., Shi, Y. H. ve Le, G. W. (2014). Effects of phytosterol in feed on growth and related gene expression in muscles of broiler chickens. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research* January. 13 (1): 9-16.
- Öner, Y., Canpolat, Ö. ve Elmacı, C. (2012). Nutrigenomik ve Hayvan Beslemedeki Uygulamaları. *Hay. Üretim* 53(1): 49-54.
- Picard, B., Berri, C., Lefaucheur, L., Molette, C., Sayd, T. ve Terlouw, C. (2010). Skeletalmuscle proteomics in livestock production. *Briefings in Functional Genomics* 9(3): 259-278.
- Rebel, J. M., Van Hemert, S., Hoekman, A. J., Balk, F. R., Stockhofe-Zurwieden, N., Bakker, D. ve Smits, M. A. (2006). Maternal diet influences gene expression

- in intestine of offspring in chicken (*Gallus gallus*). *Comp. Biochem. Physiol. A Mol. Integr. Physiol.* 145(4): 502-508
- Sevane, N., Bialade, F., Velasco, S., Rebolé, A., Rodríguez, M. L., Ortiz, L. T., Cánón, J. ve Dunner, S. (2014). Dietary inulin supplementation modifies significantly the liver transcriptomic profile of broiler chicken. *PLOS ONE*. 9(6): e98942.
- Whitfield, P. D., German, A. J. ve Noble, P. J. (2004). Metabolomics: an emerging post-genomic tool for nutrition. *Brit. J. Nutr.* 92: 549-55.
- Xiao, R., Power, R. F., Mallonee, D., Routt, K., Spangler, L., Pescatore, A. J., Cantor, A. H., Ao, T., Pierce, J. L. ve Dawson, K. A. (2012), Effects of yeast cell wall-derived mannan-oligosaccharides on jejunal gene expression in young broiler chickens. *J. Anim. Sci.*, 85:812–822.
- Zduńczyk, Z. ve Parcek, Ch. S. (2009). Application of nutrigenomics tools in animal feeding and nutritional research. *J. Anim. Feed Sci.* 18: 3-16.

BÖLÜM 12

DİJİTAL GÖRÜNTÜLERDEN ELDE EDİLEN SAYISAL RENK PARAMETRELERİ İLE TOPRAK HORIZON SINIRLARININ BELİRLENEBİLİRLİĞİ

Dr. Gafur GÖZÜKARA¹

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Eskişehir, Türkiye. ggozukara@ogu.edu.tr

GİRİŞ

Toprak oluşum faktörlerinin etkisi sonucunda toprakların morfolojik, fiziksel, kimyasal ve mineralojik özelliklerindeki değişim ve gelişimleri ile bir veya daha fazla farklı renk ve özelliklere sahip katmanlar oluşur (Sarı ve ark., 2003; Mutlu 2010; Altunbaş ve Sarı 2011; Gözükara ve ark., 2019; Gözükara ve ark., 2019; Gözükara ve ark., 2020a; Gözükara ve ark., 2020b). Toprak profilindeki en yüksek değişkenlik, genellikle toprak yüzeyine yatay olarak sıralanmış olan horizonlarda meydana gelir. Yatay değişim toprak oluşumunun ve gelişiminin sonucu olan ve toprak horizonlarının özelliklerine yansıyan belirgin bir yapıya sahiptir. Toprak bilimcileri arazi koşullarında renk, tekstür, doku, gözeneklilik, kıvam, kireç ve redoksimorfik görünümler gibi özellikleri, pedolojik deneyimleri ölçüsünde yorumlayarak toprak horizonlarının sınırlarını tanımlarlar (Hızalan 1969; Soil Survey Staff 1993; Arnold ve Eswaran, 1993; Dinç ve Şenol 2013; Gözükara ve ark., 2019; Gözükara ve ark., 2020a; Gözükara ve ark., 2020b).

Arazi koşullarında, toprak profillerindeki horizonların, geleneksel yöntemler ile uzmanların bilgi ve tecrübeleri doğrultusunda tanımlanması, toprak özellikleri ve horizon sınırları arasındaki ilişkinin tam olarak ortaya çıkarılmasında bazen yetersiz kalabilmektedir (Zhang ve Hartemink, 2019). Son zamanlarda arazi şartlarında toprak horizonları arasındaki sınırların belirlenmesinde çeşitli nicel yöntemler kullanılmaktadır (Hartemink ve Minasny, 2014; Zhang ve Hartemink, 2019). Araştırmacılar dijital görüntülerden elde edilen CIE L^* , a^* , b^* ve HSV (renk özü (H), doygunluk (S) ve parlaklık (V)) değerlerini

toprak organik karbonunun (SOC), demir oksitlerin ve pedotransfer vasıtasıyla taşınan kil boyutundaki toprak taneciklerinin tahmin edilmesinde başarıyla kullanılmıştır (Levin et al., 2005; Viscarra Rossel et al., 2008). Zhang ve Hartemink (2019) ise toprak profillerinde horizonların sınırlarını tanımlamak için dijital görüntülerden elde edilen CIE L^* , a^* , b^* ve HSV değerlerini bulanık c-means kümeleme (fuzzy c-means clustering) analizi ile birlikte kullanmışlar ve yüksek çözünürlüklü dijital görüntüler ile profillerin heterojenliğine bağlı olarak, bazı kısıtlayıcı faktörlerin haricinde, arazi koşullarında belirlenen horizon sınırlarını başarıyla tespit edebilmişlerdir.

Toprak bilimciler, toprak renginden toprak özelliklerini (morfolojik, fiziksel, kimyasal, biyolojik ve mineralojik) tahmin etmek veya yorumlamak ve buna bağlı olarak toprakları sınıflamak amacıyla yararlanmışlardır. Bu alanda çok sayıda çalışma yapılmasının en önemli sebebi ise toprak renginin arazi ve laboratuvar koşullarında kolaylıkla ve çok düşük maliyetlerle belirlenebilmesidir (Günel ve ark., 2008; Aitkenhead ve ark., 2013; Moritsuka ve ark., 2014; Baumann ve ark., 2016; Pretorius ve ark., 2017; Budak ve ark., 2018; Gözükara ve ark., 2021). Literatür araştırmalarına göre, Dünya ölçeğinde birçok araştırmacı toprak özelliklerinin arazi ve laboratuvar koşullarında toprak renginin, sayısallaştırılmış L^* , a^* , b^* ve HSV değerleriyle tespit edilebilirliği üzerinde araştırmalar yapmışlardır. Bu araştırmalar sonucunda, toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bu teknik ve teknolojiler yardımı ile ekonomik ve hızlı bir şekilde belirlenebileceğini ifade etmişlerdir (Levin et al., 2005; Viscarra Rossel et al., 2008; Weindorf ve ark. 2012; Steffens ve Buddenbaum, 2013;

Stockmann ve ark., 2016; Fajardo ve ark. 2016; Zhang ve Hartemink, 2019; Gözükara ve ark., 2021). Buna karşın, arazi veya laboratuvar koşullarında çekilmiş olan yüksek çözünürlüklü dijital görüntüler üzerinde, toprak profillerindeki horizon sınırlarının sayısal renk parametreleri (CIE L^* , a^* ve b^* ve HSV) ile belirlenebilirliği üzerine yapılan çalışmaların oldukça yetersiz kaldığı görülmüştür (Zhang ve Hartemink, 2019). Bu araştırmanın amacı, toprak profillerinde farklı horizonların sınırlarının arazi koşullarında çekilen yüksek çözünürlüklü dijital görüntülerden elde edilen CIE L^* , a^* , b^* ve HSV değerleri ile tespit edilebilirliğini araştırmaktır.

1. MATERYAL VE METOD

1.1. Çalışma Alanı, Toprak Profillerinin Tanımlanması ve Özellikleri

Araştırmada kullanılan toprak profilleri Antalya-Aksu havzası sınırları içerisinde nehir sırtı (P1 profili) (Altunbaş ve ark., 2020a; Altunbaş ve ark., 2020b) ve taşkın düzlüğü (P2 profili) (Şimşek ve ark., 2020a; Şimşek ve ark., 2020b) fizyoğrafyaları üzerinden gelişim göstermektedir. Araştırma alanında genellikle pamuk, buğday ve mısır yetiştiriciliği yapılmaktadır. Çalışma alanı Antalya havzasının sahil kesimindeki tipik Akdeniz iklim kuşağında yer almaktadır. Bu kuşakta yazlar sıcak ve kurak kışlar ılık ve yağışlı geçmektedir. Araştırma alanında nem rejimi Xeric ve sıcaklık rejimi ise Thermic olarak tanımlanmaktadır (Soil Survey Staff, 2014). Yıllık ortalama sıcaklık 18.8 °C ve yıllık toplam yağış miktarı ise 1061.7 mm'dir (1930-2020 yılları arasına göre). Araştırma alanındaki topraklar (Altunbaş ve ark.,

2020a) ve (Şimşek ve ark., 2020a) tarafından Typic Xerefluents (Soil Survey Staff, 2014) olarak sınıflandırılmıştır. Toprak profilleri Soil Survey Staff, (2014) esasları dahilinde morfometrik-genetik yaklaşımları ile arazi koşullarında tanımlamaları yapılarak horizon sınırlarının yerleri kesinleştirilmiştir (Altunbaş ve ark., 2020a; Şimşek ve ark., 2020a). Altunbaş ve ark., (2020a) tarafından tanımlanan P1 profili ve Şimşek ve ark., (2020a) tarafından tanımlanan P2 profilinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Toprak Profillerinin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

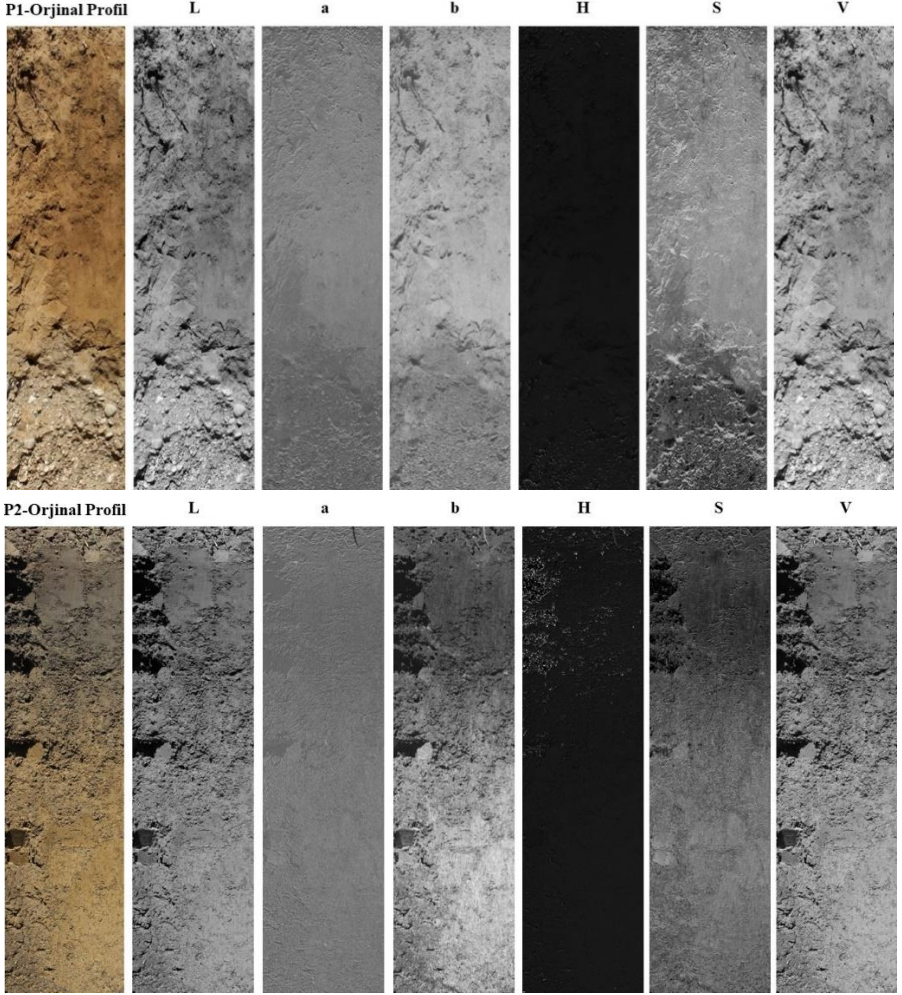
Profil	Horizon	Derinlik (cm)	EC (dS m ⁻¹)	pH	Kireç (%)	OM (%)	Kum (%)	Silt (%)	Kil (%)
P1	Ap	0-14	0.30	7.16	31.91	2.38	44.32	33.28	22.40
	A2	14-37	0.24	7.34	31.52	2.08	36.96	35.28	27.76
	C	37-71	0.16	7.54	37.01	1.19	80.96	10.64	8.40
	2C	71+	-	-	-	-	-	-	-
P2	Ap	0-9	0.47	8.17	29.22	3.89	24.55	42.86	32.59
	A2d	9-29	0.53	7.86	32.27	2.54	27.70	40.86	31.45
	ACg	29-45	0.54	7.84	35.40	1.73	19.55	37.07	43.38
	C1k	45-67	0.45	7.85	39.41	1.98	17.70	39.40	42.90
	C2k	67+	0.40	7.86	39.33	2.17	21.34	36.07	42.59

1.2. Dijital Görüntülerin Elde Edilmesi ve Özellikleri

Toprak profillerinin arazi koşullarında morfometrik-genetik horizon esasları dikkate alınarak horizon sınırları kesinleştirildikten sonra, yüzey pürüzlülüğü ve görüntü kalitesini etkileyen gölgeleri azaltmak amacıyla, toprak profil duvarı temizlenerek, olabildiği kadar pürüzsüz hale getirilmiştir. Dijital görüntüler doğal gün ışığı koşullarında ve profil duvarına dik olacak şekilde Canon EOS 700D dijital kamera ile JPEG formatında elde edilmiştir. Elde edilen dijital görüntüler 100 dpi ve 24-bit görüntü özelliğine sahiptir.

1.3. Dijital Görüntülerden Renk ve Doku Değerlerinin Elde Edilmesi

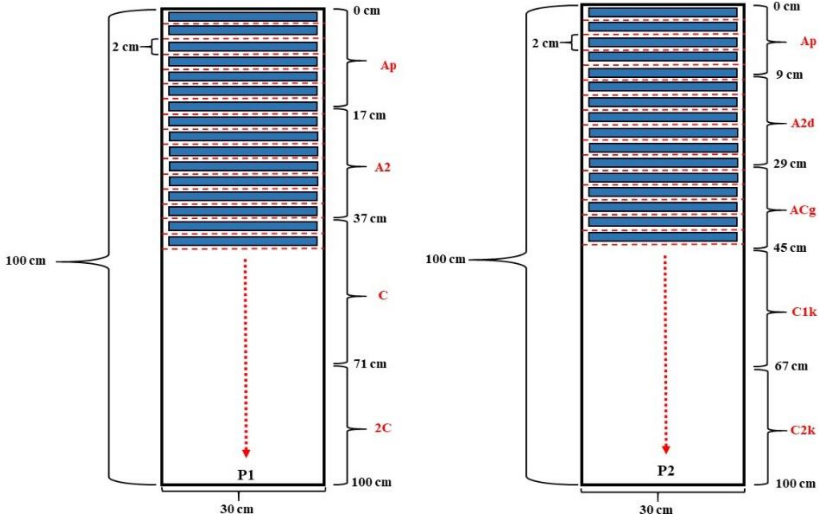
Toprak profillerinden elde edilen dijital görüntülere, açık kaynak kodlu ImageJ görüntü işleme programında düşeyde 100 cm ve yatayda 30 cm (3000 cm²) ölçülerine göre kırpma işlemi yapılmıştır (Rasband, 1997). Elde edilen dijital görüntüler üzerinde renk (CIE L^* , a^* ve b^*) ve doku (H, S ve V) özellikleri elde edilmiştir (Şekil 1). Bu model kapsamında; L^* 'in 0 (siyah) ile 100 (beyaz), kırmızı (+a) ile yeşil (-a) ve sarı (+b) ile mavi (-b) arasındaki renk değişimini temsil etmektedir (CIE, 1978). H, S ve V renk uzayı, renkleri sırasıyla renk özü (H), doygunluk (S) ve parlaklık (V) olarak tanımlar. H, S ve V renk modelinin kullanılma amacı RGB modeline göre insan gözünün görebilme potansiyeline daha yakın bir yapıda olmasıdır. Renkli nesnelerin ayrılması işlemi için genellikle H, S ve V renk modeli kullanılmaktadır. RGB renk modelinde parlaklığa bütün bileşenlerin etkisi bulunmakla beraber H, S ve V modelinde ise RGB modelinden farklı olarak parlaklığa sadece V değerinin etkisi vardır (Joblove and Greenberg, 1978). Renk özü (H), renk silindirindeki rengin konumuna karşılık gelen 0 ila 1 (veya 0 ila 360°) arasında değişen renk kısmıdır. Doymunluk (S), renkteki 0 (gri) ile %100 (ana renk) arasındaki gri miktarını temsil eder. Parlaklık (V), 0 (siyah) ile %100 (en parlak) arasında değişen rengin parlaklığını veya yoğunluğunu gösterir (Joblove ve Greenberg, 1978). Toprak profillerinin kırılmış dijital görüntülerinden ImageJ görüntü işleme programında (100 cm * 30 cm) CIE L^* , a^* , b^* sayısal renk değerleri ve H, S ve V doku analizi değerleri elde edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1: P1 ve P2 toprak profillerinin dijital görüntülerinden elde edilen orijinal görüntü, renk (CIE L^* , a^* ve b^*) ve doku özellikleri (H, S ve V)

1.4. Dijital Görüntüler ile Toprak Horizon Sınırlarının Belirlenmesi

Toprak profilinde düşeyde her 2 cm'den ($2 \text{ cm} * 30 \text{ cm} = 60 \text{ cm}^2$ 'lik alan) alınan ortalama renk (CIE L^* , a^* ve b^*) ve doku (H, S ve V) değerleri ikinci dereceden eğri (Quadratic spline, $\lambda=1$) özelliği kullanılarak düşeyde 1cm'lik verilere dönüştürülmüştür (Bishop et al., 1999). Düşeyde elde edilen verilerde (1cm'lik) CIE L^* , a^* , b^* sayısal renk değerleri ve H, S ve V doku analizi değerleri k-means bulanık kümeleme (k-means Fuzzy Cluster) analizi (*cluster package*) (Maechler et al., 2016) R 3.4.3 istatistik programı ile yapılmıştır (R Core Team, 2016). Elde edilen k-means bulanık kümeleme analiz sonuçları 0 ile 1 arasında değişen dijital gradient değeri (DG) (Powell et al., 1991) sayesinde CIE L^* , a^* , b^* sayısal renk değerleri ve H, S ve V doku analizi değerleri sonucunda toprak horizonlarının olası geçiş yerleri tahmin edilmiştir. 0 ile 1 arasında değişen dijital gradient (DG) değerinin pik yaptığı noktalar horizon değişikliğinin başlangıcı olarak kabul edilmiştir.



Şekil 2: P1 ve P2 toprak profillerinin dijital görüntüleri üzerinde sayısal renk parametreleri ve doku özelliklerine ait örnekleme modeli (kırmızı yatay kesikli çizgiler profil boyunca (0 – 100 cm arası) her 2 cm'lik derinliği, mavi dikdörtgen kutular ise toprak profilinde her 2 cm'deki örnekleme alanını temsil etmektedir).

2. BULGULAR VE TARTIŞMA

2.1. Sayısal Renk ve Doku Parametrelerinin Toprak Profillerindeki Dağılımı

Araştırma kapsamında P1 ve P2 toprak profillerinin dijital görüntülerinden elde edilen sayısal renk (CIE L^* , a^* ve b^*) ve doku özelliklerinin (H, S ve V) değerlerini kullanılarak elde edilen değerlerini 5'li, 4'lü ve 3'lü k-means bulanık kümeleme (k-means Fuzzy Cluster) analizi ile horizon sınırlarının belirlenmesi araştırılmıştır. Araştırmada incelenen 2 (iki) farklı toprak profillerinin dijital görüntülerden elde edilen sayısal renk parametreleri (CIE L^* , a^* ve b^*) ve doku değerlerinin (H, S ve V) tanımlayıcı istatistik analizleri Çizelge 2'de gösterilmiştir. Toprak profillerinde sayısal renk parametreleri ve doku özellikleri arasında en fazla varyasyon değeri

(CV) CIE a^* ve b^* değerlerinde tespit edilmiştir. Aynı zamanda CV değeri özelliklerin neredeyse tamamında (H değeri hariç) P1 profilinde P2 profilinden daha yüksek olarak belirlenmiştir.

Çizelge 2. Dijital görüntülerden elde edilen renk (CIE $L^*a^*b^*$) ve doku (H, S ve V) değerlerinin tanımlayıcı istatistik analizleri

	Ort.	CV	Min.	Q1	Q3	Mak.	Çarpıklık	Basıklık	
P1	L	47.21	9.64	38.22	43.74	50.24	54.37	-0.74	-0.62
	a	8.93	32.62	3.36	6.96	11.41	12.54	-0.62	-0.80
	b	26.02	22.70	14.48	22.80	30.64	33.89	-0.60	-0.67
	H	23.61	10.13	20.15	21.27	26.06	26.98	-0.01	-1.53
	S	131.26	19.05	87.81	113.54	155.46	162.38	-0.34	-1.25
	V	145.32	8.03	121.96	137.41	154.32	163.03	-0.74	-0.58
P2	L	47.64	13.50	39.49	41.48	54.01	58.03	0.31	-1.34
	a	2.92	46.74	0.76	1.57	4.26	4.26	-0.34	-1.58
	b	18.21	40.62	8.30	11.21	25.92	28.81	0.12	-1.56
	H	26.35	6.00	24.17	25.17	27.54	29.35	0.52	-0.83
	S	90.15	27.98	53.60	63.31	115.11	115.54	-0.28	-1.72
	V	127.93	18.39	97.82	105.02	152.77	162.43	0.19	-1.55

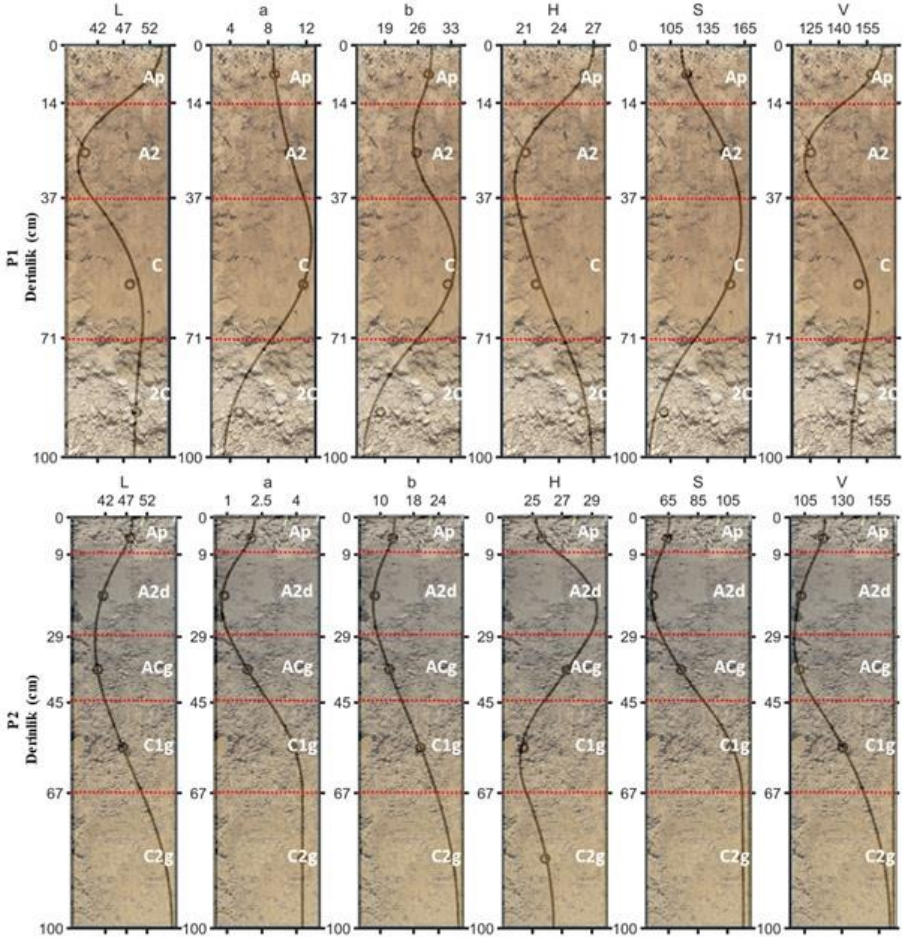
Toprak profillerinin dijital görüntülerinden elde edilen renk (CIE L^* , a^* ve b^*) ve doku özellikleri (H, S ve V) sonuçları Çizelge 3’de ve profillerin horizonlarına göre değişimi Şekil 3 ve Şekil 4’de gösterilmiştir. Genel olarak, P1 profilinde CIE a^*b^* , S ve V değerleri P2 profiline göre daha yüksek değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. P1 profilinde litolojik kesilmeye bağlı olarak C horizonundan 2C horizonuna geçişte neredeyse bütün renk ve doku özelliklerinden önemli değişimler tespit edilmiştir (Şekil 3). P2 profilinde A horizonlarından C horizonlarına geçişte renk ve doku özelliklerinde önemli değişimler gözlemlenmiştir.

Çizelge 3. Profillerde horizonlara göre ortalama sayısal renk parametreleri ve doku özellikleri

Profil	Horizon	Derinlik (cm)	L^*	a^*	b^*	H	S	V
P1	Ap	0-14	52.18	8.68	28.27	26.19	117.87	157.34
	A2	14-37	39.57	10.27	25.69	21.09	149.22	125.29
	C	37-71	48.21	11.70	32.34	22.01	153.23	150.53
	2C	71+	49.51	4.90	18.04	26.07	99.31	148.94
P2	Ap	0-9	47.88	2.05	13.01	25.60	64.34	117.34
	A2d	9-29	41.41	0.86	8.67	29.00	54.49	102.47
	ACg	29-45	40.10	1.89	12.20	27.33	73.58	101.39
	C1k	45-67	46.19	3.85	19.71	24.39	107.30	130.56
	C2k	67+	55.82	4.26	27.22	25.87	115.30	157.12

Toprak rengi karakteristik özellik olmakla birlikte redoksimorfik özellikler ve toprakların birçok fiziksel ve kimyasal özellikleri hakkında bilgi vermektedir (Viscarra Rossel et al., 2008; Zhang and Hartemink, 2019). Aynı zamanda toprak rengi farklı horizonların tanımlanmasında ve sınıflandırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Araştırma sonuçlarına göre CIE L^* a^* ve b^* ve doku özellikleri (H, S ve V) değerlerinin birlikte kullanımıyla yapılan kümeleme analizi ile birlikte toprak horizonlarının sınırlarının arazi koşullarında elde edilen sınırlara oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir. Birçok araştırmacı toprak horizon sınırlarının belirlenmesinde farklı toprak rengi modellerini ve segmentasyon metodlarını kullanmışlardır. Chebbout ve Merouani (2012), CIE L^* a^* ve b^* ve doku özelliklerini (H, S ve V) kullanarak k-means kümeleme analizini ve Kohonen's self-organizing haritalama metodunu ile görüntü segmentasyon metodlarını kullanmıştır. Narkhede and Gokhale, (2015) ise CIE L^* a^* ve b^* ve doku özelliklerini (H, S ve V) iki farklı metot (edge detection ve seeded region growing) ile karşılaştırarak doku özelliklerinin (H, S ve V) daha başarılı sonuçlara sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bora et al., (2015)

CIE L^* , a^* ve b^* ve doku özelliklerini (H, S ve V) k-means kümeleme analiz metodu ile karşılaştırması sonucunda özellikle görüntü kalitesinin iyi olmadığı koşullarda doku özelliklerinden (H, S ve V) elde edilen performansın daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacıların sonuçlarına göre, segmentasyonda kullanılan bu modeller arasında ise genellikle CIE L^* , a^* ve b^* değerlerinin daha yaygın kullanıldığı gözlemlenmiştir (Ganesan et al., 2010; Hernandez-Gomez et al.,2009; Zhang and Hartemink, 2019). Zhang and Hartemink, (2019) CIE L^* a^* ve b^* ve doku özellikleri (H, S ve V) değerlerinin ayrı ayrı kullanılarak yapılan kümeleme analizlerinde özellikle toprak horizon sınırlarında CIE L^* , a^* ve b^* değerlerinin horizon sınırlarının belirlenmesinde daha etkili olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacıların sonuçları CIE L^* , a^* ve b^* ve doku özellikleri (H, S ve V) değerlerinin dijital görüntülerin segmentasyon işleminde güvenle kullanılabilceğini göstermiştir.



Şekil 3. P1 ve P2 profillerinde dijital görüntülerden elde edilen renk (CIE L^* , a^* ve b^*) ve doku özelliklerinin (H, S ve V) profil boyunca horizonlara göre değişimi (kırmızı kesikli çizgiler P1 ve P2 horizonlarının arazi koşullarında tespit edilen sınırlarını, profil yüzeyinden aşağı doğru inen siyah çizgiler ise CIE L^* , a^* ve b^* ve doku özelliklerinin (H, S ve V) profil boyunca değişimi temsil etmektedir)

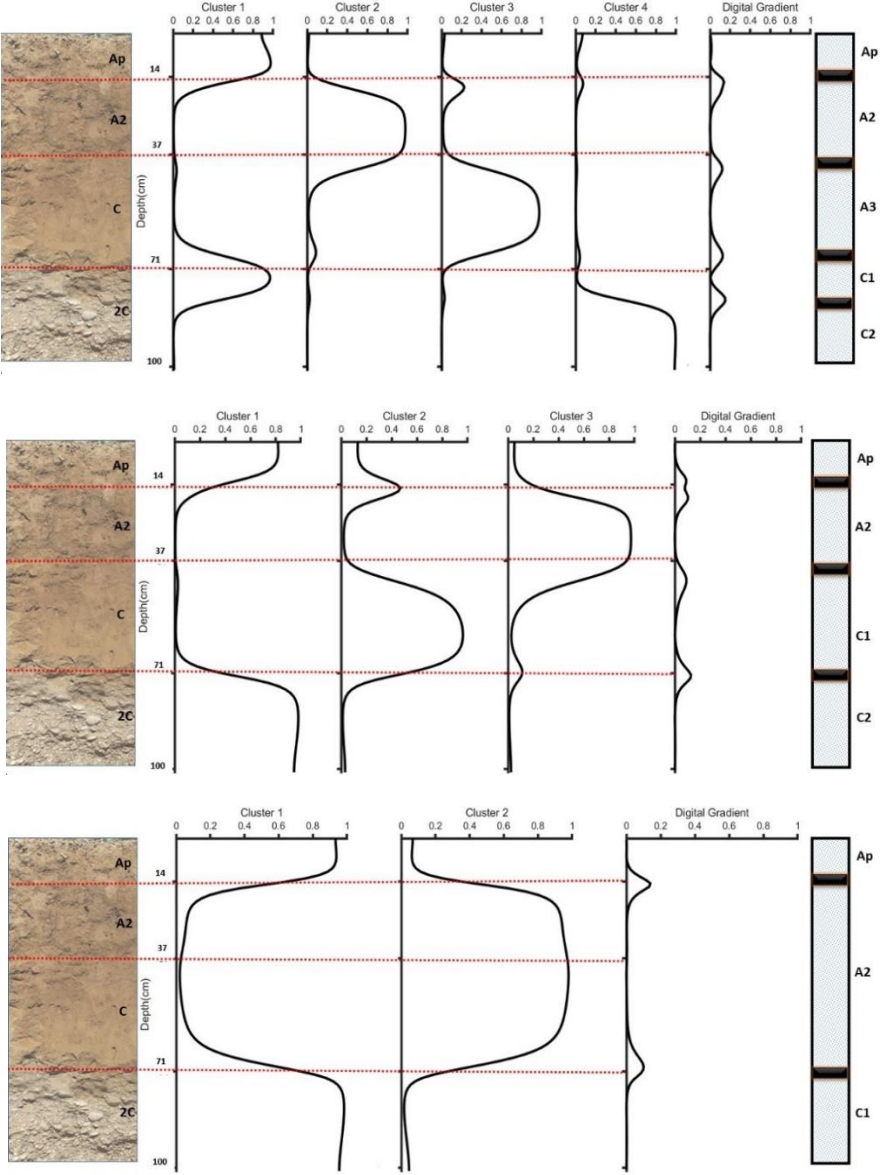
2.2. Horizon Sınırlarının Sayısal Renk ve Doku Özellikleri ile Belirlenmesi

Toprak profillerinden elde edilen görüntülerden sayısal renk parametreleri (CIE L , a ve b) ve doku özellikleri (H, S ve V) belirlenmiştir. Elde edilen değerler 4'lü, 3'lü ve 2'li k-means bulanık

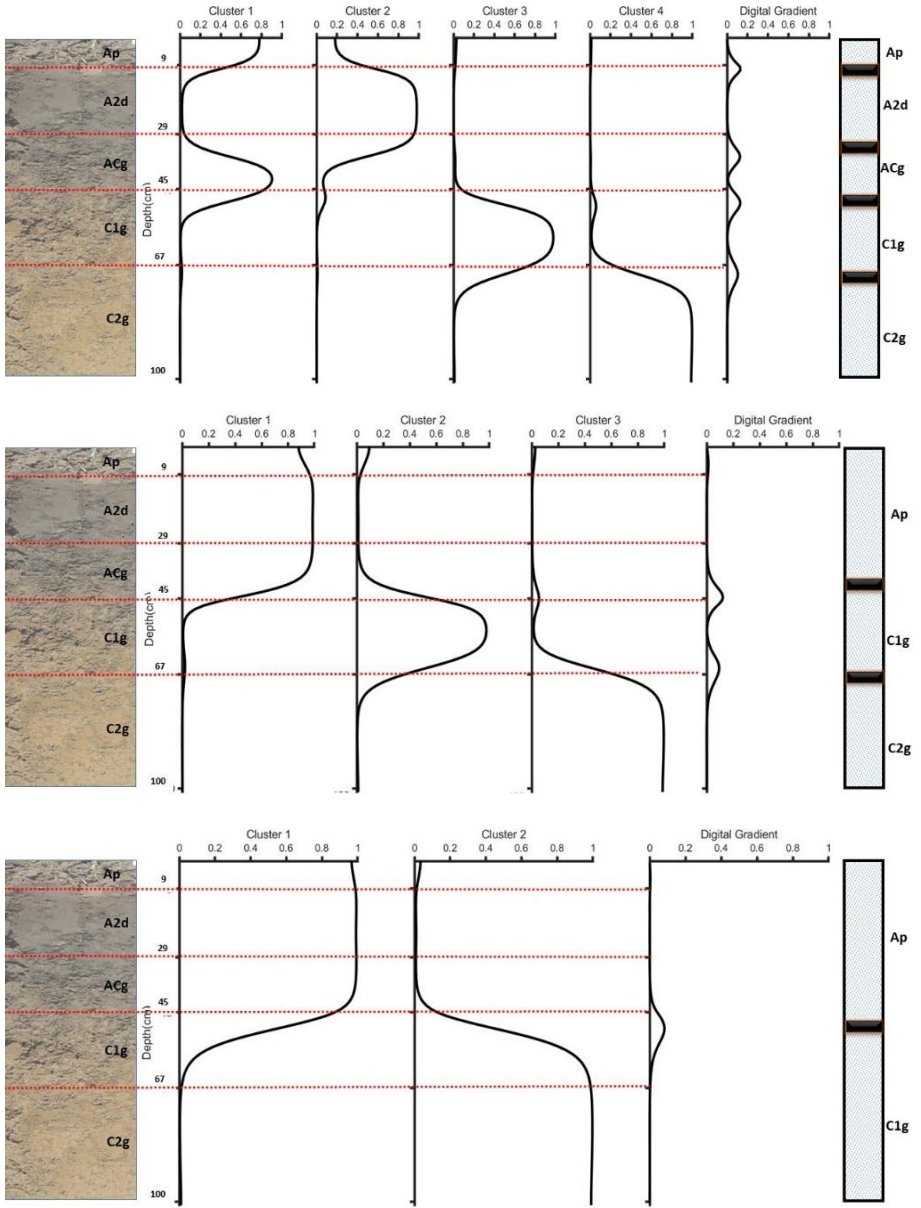
kümeleme (k-means Fuzzy Cluster) analizleri yapılmıştır. P1 profillerinde farklı kümeleme analizleri arasında arazi koşullarında belirlenen horizon sınırlarına en yakın 3'lü, P2 profilinde ise 4'lü k-means bulanık kümeleme (k-means Fuzzy Cluster) analizlerinin arazi koşullarında tespit edilen horizon sınırlarına en yakın sonuçlar olduğu belirlenmiştir. Böylelikle, araştırmada kullanılan toprak profilleri arasında CIE L^* , a^* ve b^* ve doku özellikleri (H, S ve V) değerleri kullanılarak horizon sınırlarının tespit edilmesinde önemli farklılıkların olduğu belirlenmiştir. Zhang and Hartemink, (2019) dijital görüntüler ile toprak horizonlarının sınırlarının belirlenmesinde horizonlardaki taş ve çakıl yoğunluğunun başarı performansını etkilediğini belirtmiştir. Özellikle P1 profilinde k-means bulanık kümeleme (k-means Fuzzy Cluster) analizi ile başarı performansının P2 profiline göre göreceli olarak daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4). P1 ve P2 profillerinin horizonlarında CIE L^* , a^* ve b^* değerleri bazı piksellerde birbirine daha yakın sonuçlar vermiş olmasına rağmen dijital görüntülerin doku özelliği (H, S ve V) değerlerinde horizonlardaki taş ve çakıl yoğunluğuna bağlı olarak önemli farklılıkların olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4. Arazi koşullarında ve kümeleme analizi sonucunda elde edilen horizon sınırlarının karşılaştırılması

Profil	Horizon	Arazi Koşullarında Tespit (cm)	Kümeleme Analizi ile Tespit (cm)	Arazi ve Kümeleme Analizi Farkı (cm)
P1	Ap-A2	0-14	0-13	-1
	A2-C	14-37	13-39	+2
	C-2C	37-71	39-72	+1
P2	Ap-A2d	0-9	0-13	+4
	A2d-ACg	9-29	13-34	+5
	ACg-C1k	29-45	34-42	-3
	C1k-C2k	45-67	42-74	+7



Şekil 4: P1 profilinde dijital fotoğraftan elde edilen renk (CIE L^* , a^* ve b^*) ve doku özelliklerinin (H, S ve V) değerlerinin 4'lü, 3'lü ve 2'li kümeleme analizi ile toprak horizon sınırları (Sol taraftaki orijinal dijital görüntü üzerindeki kırmızı kesikli çizgiler arazi koşullarında tespit edilen horizon sınırlarını, sağ taraftaki siyah dikdörtgenler farklı kümeleme analiz sonucunda elde edilen horizon sınırlarını temsil etmektedir).



Şekil 4: P2 profilinde dijital fotoğraftan elde edilen renk (CIE L^* , a^* ve b^*) ve doku özelliklerinin (H, S ve V) değerlerinin 4'lü, 3'lü ve 2'li kümeleme analizi ile toprak horizon sınırları (Sol taraftaki orijinal dijital görüntü üzerindeki kırmızı kesikli çizgiler arazi koşullarında tespit edilen horizon sınırlarını, sağ taraftaki siyah dikdörtgenler farklı kümeleme analiz sonucunda elde edilen horizon sınırlarını temsil etmektedir).

Bu farklılıklar ise P1 profilinde toprak horizonlarının tespit edilmesinde yüksek başarı performansının elde edilmesine katkı sağlamıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda bazı toprak profillerinin dijital görüntülerinden elde edilen doku özelliklerinin (H, S ve V) horizon sınırlarının tespit edilmesinde daha etkili olduğu gözlemlenmiştir.

SONUÇ

Yapılan bu araştırmada, toprak profillerinde horizon sınırlarının ve özelliklerinin dijital görüntülerinden elde edilen CIE L^* , a^* ve b^* ve doku (H, S ve V) değerleri ile belirlenebilirliği test edilmiştir. Bu kapsamda 2 farklı toprak profili ve bu profillerde yer alan 9 farklı horizon değerlendirmeye alınmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, özellikle dijital görüntülerden elde edilen CIE L^* , a^* ve b^* ve doku (H, S ve V) değerleri ile A ve C gibi ana horizon sınırlarının tespit edilmesinde başarının daha yüksek olduğu, fakat ara horizonların (A2, A2d, C2 ve C3 gibi) tespit edilmesinde ise başarı performansının azaldığı gözlemlenmiştir. Toprak horizon sınırlarının belirlenmesinde, horizonlardaki doku özellikleri (H, S ve V) üzerinde etkili olan litolojik kesilmelere bağlı ani renk ve tekstür (taş ve çakıl oranı) değişimlerinin de, dijital ölçümlerle kolaylıkla ve büyük bir doğrulukla belirlenebildiği ortaya konulmuştur. Toprak profillerinde dijital görüntüler kullanılarak toprak horizon sınırlarının belirlenmesindeki başarı performansının artırılması için farklı karakteristik özelliklere ve B horizonuna sahip toprak profillerinde, daha yüksek çözünürlüklü dijital fotoğraflar ile mevcut veya farklı kümeleme metotları ile başarı performansının test edilmesinin önemli ve gerekli olduğu sonucuna varılmıştır. Aynı

zamanda arazi koşullarında çekilen fotoğraflar ile eş zamanlı olarak toprak yüzeyinde nem içeriklerinin de ölçülmesi tavsiye edilmektedir. Böylelikle dijital görüntülerden elde edilen sayısal renk parametreleri nem içerikleri ile kalibre edilerek tahmin performansının artırılmasına katkıları sağlanabilir. Ayrıca, laboratuvara getirilen bozulmuş ve hava kuru halde standardize edilmiş topraklarda da dijital ölçümlerin yapılması sonucunda elde edilen sayısal renk parametrelerinin de modele dahil edilmesi önerilmektedir. Bu yaklaşımlar ve öneriler ile birlikte toprak horizonlarının sınırlarının tespit edilmesinde dijital görüntülerden elde edilen CIE $L^*a^*b^*$ ve doku (H, S ve V) özellikleri ile toprak özelliklerinin belirlenmesinde başarı performansını artırılabilceği öngörülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 202023D21 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Aynı zamanda, veri setinin oluşturulması aşamasında bu çalışma Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FBA-2016-1536 proje ile desteklenmiştir. Toprak profillerinden dijital fotoğrafların alınması aşamasına kadar geçen süre boyunca arazi çalışmalarındaki yardımlarından dolayı Dr. Sevda ALTUNBAŞ, Zir. Yük. Müh. B. Çağdaş DEMİREL, Zir. Yük. Müh. Ozan ŞİMŞEK ve Zir. Yük. Müh. Serden EROL'a ve ayrıca makalede kullanılan teknik ve yaklaşımlara olan katkılarından dolayı Prof. Dr. Alfred E. Hartemink ve Dr. Yakun Zhang'a teşekkür ederim.

KAYNAKÇA

- Altunbaş, S., & Sarı, M. (2011). Kurutulan keşel gölünden kazanılan toprakların bazı özellikleri ile üretim potansiyelleri arasındaki ilişkiler. Akdeniz Üniversitesi. Ziraat Fakültesi Dergisi, 24(1): 61-65.
- Altunbaş, S., Gözügara, G., & Demirel, B. Ç. (2020a). Aksu ovasında farklı flüviyal depozitler üzerinde gelişen toprakların özelliklerinin ve dağılımlarının belirlenmesi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 57(3): 381-391.
- Altunbaş, S., Demirel, B. Ç., Gözügara, G., & Erol, S. (2020b). Alüviyal araziler üzerinde gelişen bazı toprakların arazi yetenek sınıflarının belirlenmesi. Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi, 6(3): 638-646.
- Aitkenhead, M. J., Coull, M., Towers, W., Hudson, G., & Black, H. I. J. (2013). Prediction of soil characteristics and colour using data from the national soils inventory of scotland. Geoderma, 200: 99-107.
- Arnold, R., & Eswaran, H. (1993). Soil horizon use by the us soil survey. Catena, 20: 375-381.
- Baumann, K., Schöning, I., Schrumpf, M., Ellerbrock, R.H., & Leinweber, P. (2016). Rapid assessment of soil organic matter: soil color analysis and fourier transform infrared spectroscopy. Geoderma, 278: 49-57.
- Bishop, T. F. A., McBratney, A. B., & Laslett, G. M. (1999). Modelling soil attribute depth functions with equal-area quadratic smoothing splines. Geoderma, 91: 27-45.
- Budak, M., Günel, H., Süer, M., & Akbaş, F. (2018). Sayısal renk parametrelerinden bazı fiziksel ve kimyasal toprak özelliklerinin belirlenmesi. Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 22(3): 376-389.
- Chebbout, S., & Merouani, H. F. (2012). Comparative study of clustering based colour image segmentation techniques. In: 2012 Eighth International Conference on Signal Image Technology and Internet Based Systems, pp. 839-844.
- Dinç, U., & Şenol, S. (2013). Toprak etüd ve haritalama. Ç. Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 161, Ders Kitapları Yayın No: A-50 Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Atölyesi, Adana Sy: 235.

- Fajardo, M., McBratney, A., & Whelan, B. (2016). Fuzzy clustering of vis-nir spectra for the objective recognition of soil morphological horizons in soil profiles. *Geoderma*, 263: 244–253.
- Ganesan, P., Rajini, V., & Rajkumar, R. I. (2010). segmentation and edge detection of color images using CIELAB color space and edge detectors. In: *INTERACT-2010*, pp. 393–397.
- Gözükara, G., Altunbaş, S., & Sarı, M. (2019). Mekansal değişimin alüviyal fanlar üzerinde oluşan toprakların özelliklerine etkisi. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 32(3): 425-435.
- Gözükara, G., Altunbaş, S., & Sarı, M. (2020a). zamansal ve mekansal değişimlerin eski göl tabanlarındaki toprak oluşumu, gelişimi ve morfolojisi üzerine etkisi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 24(1): 96-110.
- Gözükara, G., Altunbaş, S., & Sarı, M. (2020b). Zamansal ve mekansal değişimlerin farklı fizyografyalardaki toprakların oluşumu, gelişimi ve morfolojisi üzerine etkisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 57(2): 277-288.
- Gözükara, G., Demirel, B. Ç., & Altunbaş, S. (2021). Sayısal renk parametreleri ile toprak özellikleri arasındaki ilişkiye toprak horizonlarının etkisi. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 34(1): 125-133.
- Günel, H., Erşahin, S., Yetgin, B., & Kutlu, B. (2008). Use of chroma-meter measured color parameters in estimating color related soil variables. *communications in soil science and plant analysis*, 39(5-6): 726-740.
- Hartemink, A. E., & Minasny, B. (2014). Towards digital soil morphometrics. *Geoderma*, 230: 305–317.
- Hernandez-Gomez, G., Sanchez-Yanez, R. E., Ayala-Ramirez, V., & Correa-Tome, F. E. 2009. Natural image segmentation using the CIELAB Space. In: *2009 International Conference on Electrical, Communications, and Computers*, pp. 107–110.
- Hızalan, E. (1969). Toprak etüt ve haritalama I. A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları, 379, 218 S.
- Joblove, G. H., & Greenberg, D. (1978). Color spaces for computer graphics. *Comput. Graph.*, 12: 20–25.

- Levin, N., Ben-Dor, E., & Singer, A. (2005). A digital camera as a tool to measure colour indices and related properties of sandy soils in semi-arid environments. *International Journal of Remote Sensing*, 26: 5475–5492.
- Moritsuka, N., Matsuoka, K., Katsura, K., Sano, S., & Yanai, J. (2014). Soil color analysis for statistically estimating total carbon, total nitrogen and active iron contents in Japanese agricultural soils. *Soil Science and Plant Nutrition*, 60(4): 475-485.
- Mutlu, H. H. (2010). Eski konya gölü kuvaterner terasları üzerinde oluşan toprakların jeokimyasal özellikleri ve ayrışma oranları. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Narkhede, P. R., & Gokhale, A. V. (2015). Color image segmentation using edge detection and seeded region growing approach for CIELab and HSV color spaces. In: 2015 International Conference on Industrial Instrumentation and Control (ICIC), pp. 1214–1218.
- Şimşek, O., Altunbaş, S., Gözükara, G., & Demirel, B. Ç. (2020a). Farklı alüvyal depozitler üzerinde gelişen toprakların pedolojik özelliklerinin belirlenmesi. *Harran Gıda ve Tarım Bilimleri Dergisi*, 24(3): 347-358.
- Şimşek, O., Altunbaş, S., Demirel, B. Ç., & Gözükara, G. (2020b). Alüvyal fizyografyalar üzerinde gelişen farklı topraklarda arazi değerlendirme çalışmaları. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 33(1): 129-135.
- Pretorius, M. L., Van Huyssteen, C. W., & Brown, L. R. (2017). Soil color indicates carbon and wetlands: developing a color-proxy for soil organic carbon and wetland boundaries on sandy coastal plains in South Africa. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(11): 556.
- Powell, B., McBratney, A. B., & MacLeod, D. A. (1991). The application of fuzzy classification to soil pH profiles in the Lockyer valley, Queensland, Australia. *Catena*, 18: 409–420.
- R Core Team, (2016). R: A Language and environment for statistical computing, Vienna, Austria. At: <http://www.R-project.org/>.
- Rasband, W. (1997). ImageJ. US National Institutes of Health, Bethesda, MD.

- Sarı, M., Altunbaş. S., Sönmez, N. K., & Emrahoğlu, E. I. (2003). Farklı fizyografik üniteler üzerinde yer alan eski manay göl alanı topraklarının özellikleri ve potansiyel üretkenlikleri. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(1): 7-17.
- Soil Survey Staff (1993). *Soil survey manual*. USDA Handbook 18, US Gov. Print. Washington DC.
- Soil Survey Staff (2014). *Keys to soil taxonomy*. 12th ed. USDA National Resources Conservation Services, Washington DC.
- Steffens, M., & Buddenbaum, H. (2013). Laboratory imaging spectroscopy of a stagnic luvisol profile – high resolution soil characterisation, classification and mapping of elemental concentrations. *Geoderma*, 195–196: 122–132.
- Stockmann, U., Cattle, S. R., Minasny, B., & McBratney, A. B. (2016). Utilizing portable x-ray fluorescence spectrometry for in-field investigation of pedogenesis. *Catena*, 139: 220–231.
- Viscarra Rossel, R. A., Fouad, Y., & Walter, C. (2008). Using a digital camera to measure soil organic carbon and iron contents. *Biosystems Engineering* 100, 149–159.
- Weindorf, D. C., Zhu, Y., Haggard, B., Lofton, J., Chakraborty, S., Bakr, N., Zhang, W., Weindorf, W. C., & Legoria, M. (2012). Enhanced pedon horizonation using portable xray fluorescence spectrometry. *Soil Science Society of America Journal*, 76: 522–531.
- Zhang, Y., & Hartemink, A. E. (2019). A method for automated soil horizon delineation using digital images. *Geoderma*, 343: 97-115.

BÖLÜM 13

BITKİ DOKU KÜLTÜRÜNDE ANTİBİYOTİK KULLANIMI

Arş. Gör. Hakkı Ekrem SOYDEMİR^{1*}

Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahim YILMAZ²

^{1*} Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tohum Bilimi ve Teknolojisi Bölümü, Bolu, Türkiye. ekremsoydemir@ibu.edu.tr

² Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, Bolu, Türkiye. abdurrahimyilmaz@ibu.edu.tr

GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızla artmasıyla birlikte insanların ilaç ve besin ihtiyacını karşılamak için bitki uzmanlarının işi gün geçtikçe zorlaşmaktadır. Bitki biyoteknolojisi alanı bu ihtiyacı giderebilecek uygulamaları içerdiğinden dolayı akademik camiada popüler çalışma alanları içerisine girmiştir. Bitki biyoteknolojisi; çeşitli genetik mühendisliği ve doku kültürü yöntemleri kullanılarak bitkilerin moleküler seviyede iyileştirilmesine katkıda bulunan önemli araçlara sahiptir (Onay ve ark., 2012).

Bitki doku kültürü; yapay besin ortamında, aseptik koşullarda, bütün bir bitki, hücre, organ veya doku gibi bitki kısımlarından yeni bitkisel ürünlerin elde edilmesidir (Babaoğlu ve ark, 2001). *In vitro*, aksenik veya steril kültür olarak da adlandırılan bitki doku kültürü; hem temel hem de uygulamalı çalışmalarda olduğu kadar ticari uygulamalarda da önemli bir araçtır (Thorpe, 1990; Thorpe, 2007; Stasolla ve Thorpe, 2011). Günümüzde doku kültürü; haploid bitki üretimi, somoklonal varyasyon, *in vitro* germplazm muhafazası, *in vitro* seleksiyon, somatik hücre melezlemesi ve gen transferi gibi ıslah amaçlı çalışmalarda veya mikroçoğaltım, sentetik tohum üretimi, virüs ari bitki üretimi ve sekonder metabolit üretimi gibi ticari amaçlı girişimlerde kullanılmaktadır (Babaoğlu ve ark, 2001).

Bir madde veya bir cismin birlikte bulunduğu tüm mikroorganizma şekillerinin (sporlar dahil) tahrip edilmesi, öldürülmesi veya ortamdaki uzaklaştırılmasına sterilizasyon denilmektedir (Dolapçı, 2016).

Sterilizasyon bitki doku kültürü için vazgeçilmez koşullardan birisidir. Doku kültürü çalışmalarında tüm laboratuvarında sterilizasyon şartlarına dikkat edilmesi gerekmektedir. Bitki materyali, çalışma alanı ve kullanılan tüm ekipmanların (kapların, besin ortamlarının ve aletlerin) sterilizasyonundan emin olunmalıdır. Sterilizasyon zincirinin anlık olarak bozulması bile kültürlerin kontamine olması ile sonuçlanabilmektedir.

Kontaminasyon, steril olması gereken kültüre mikro organizmaların bulaşması olarak tanımlanabilir. Doku kültüründe kontaminasyon sık karşılaşılan sorunlardan biridir. Doku kültüründeki kontaminasyon, mikroorganizmaların eksplant dokularında taşınması veya laboratuvarındaki hatalı prosedürlerden kaynaklanabilir. Kontaminasyonun kaynağını bulma işlemi oldukça zor olabilmektedir (Cassells, 1991). Endojen mikrobiyal kontaminasyonun yüzey sterilizasyonu ile eliminasyonu mümkün olmamaktadır. Bu bakımdan endojen kontaminasyonlar kültürde bitki dokusunun büyümesi esnasında ciddi problemlere neden olmaktadır (Singh, 2018). Endojen bakteri kontaminasyonu gibi durumlarda son çare olarak antibiyotiklerin kullanımı zorunlu hale gelebilmektedir (Phillips, 1981).

1. ANTİBİYOTİKLERİN DOKU KÜLTÜRÜNDE KULLANIMI

Antibiyotiklerin etki mekanizmaları hücre fonksiyonunun veya hücre zarı yapısının bozulması, hücre duvarı sentezinin inhibisyonu, protein sentezinin inhibisyonu, nükleik asitlerin yapı ve fonksiyonunun inhibisyonu veya anahtar metabolik yolların tıkanması şeklinde

gerçekleşmektedir (Talaro ve Chess, 2008; Madigan ve Martinko, 2006; Wright, 2010; Etebu ve Arikekpar, 2016). Bitki doku kültüründe kullanılan antibiyotiğin kabul edilebilir olması için, bitki hücrelerine toksik olmaması ve geniş bir mikrobiyolojik aktivite spektrumuna sahip olması gerekmektedir (Pollock ve ark., 1983). Etkili bir mücadele gerçekleştirilmesi için kullanılacak antibiyotiğin belirlenmesinde kontaminasyon kaynağı ve tipinin iyi bilinmesi gerekmektedir.

Bakteriler en yaygın kontaminasyon kaynaklarıdır. Doku kültürü ortamında kontaminasyona sebep olup en çok karşılaşılan bakteriler *Agrobacterium*, *Bacillus*, *Lactobacillus*, *Pseudomonas*, *Staphylococcus*, *Enterobacter* ve *Xanthomonas*'dur. Bu tür mikroorganizmalar bitki materyaliyle gelmekte ve iyi bir yüzey sterilizasyonu sağlanmadığı sürece problem oluşturmaktadır. Bakteriler, besin ortamı içinde veya üzerinde krem, beyaz, sarı veya pembe renkte ve genellikle şeffaf koloniler halinde ortaya çıkmaktadır (Şekil 1; Babaoğlu ve ark., 2001). Mikoplazmalar 0,1-0,3 µm boyutları ile canlılar arasında en küçük serbest yaşayan bakterilerdir. Hücre duvarları bulunmayan bu bakterilerin hücre membranları sterol içermektedir. Hücre duvarları olamaması sebebiyle hücre duvar sentezini engelleyen vankomisin, sefalosporin ve penisilin gibi antibiyotiklere karşı doğal direnç göstermektedirler (Sütçü ve Somer, 2015). Mikoplazma türü organizmalar kolaylıkla tespit edilemedikleri için en tehlikeli kontaminasyon tiplerindedir. Çünkü tespit edilmeden kültürden kültüre geçebilmekte ve çok uzun süreli çalışmalar boşa gidebilmektedir (Babaoğlu ve ark., 2001). Bakteri kontaminasyonlarıyla

mücadele edebilmek için besiyerlerine uygun miktarda Streptomisin, Tetrasiklin, Vankomisin, Rifampisin, Gentamisin, Sefotaksim gibi antibiyotiklerin eklenmesi kültürdeki kontaminasyonu ortadan kaldırabilir (Leelavathy ve Sankar, 2016; Sharma ve ark., 2002; Habiba ve ark., 2002; Eed ve ark., 2010; Singh, 2018). Daha iyi nodal eksplant kültürü için besiyerine Benomyl ve Streptomycin eklenebilir (Buckseth ve ark., 2017; Singh, 2018).

Kontaminasyon tiplerinden bir tanesi de funguslardır. Funguslar, eksplant kaynaklı olarak gelebileceği gibi kültür sonrası hava kaynaklı olarak da taşınabilmektedir. Değişik renklerde (gri, mavi, beyaz) ve lifli (misel) görünümde olan funguslar, genellikle besin ortamının ve kültürlerin üzerini ağ gibi sarmaktadır (Şekil 1; Babaoğlu ve ark., 2001). Funguslar ile mücadelede antibiyotikler yerine antifungal ajanların (fungusitlerin) kullanılması gerekmektedir. Kullanılacak antifungal ajanların etkili olabilmesi için; besin ortamında mantar öldürücü olmaları, bitki hücreleri için toksik olmamaları ve geniş bir spekturuma sahip olmaları gerekmektedir (Shields ve ark., 1984). Bazı bakteri ve fungus kontaminasyon tiplerine ait görseller Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Bazı bakteri (yukarda) ve fungus (aşağıda) kontaminasyon tipleri

Antibiyotikler besin ortamına otoklav sonrası ortam ısısı düştükten sonra filtre ile sterilize edilerek kullanılmalıdır. Antibiyotiklere alternatif olarak hava, su veya endojen kaynaklı kontaminasyonu uzun süreli engelleyebilen, ısıya dayanıklı (otoklavlanabilir) ve geniş spektruma sahip bir biyosit olan PPM (Plant Preservative Mixture) kullanılabilmektedir (Babaoğlu ve ark, 2001).

SONUÇ

Bitki doku kültüründe alınacak en iyi sonuçlar öncelikle aseptik bir kültürün sağlanmasıyla elde edilecektir. Bunu sağlamanın en güvenilir yolu ise sterilizasyonundan emin olunan laboratuvar şartlarını sağlamaktır. Eksplantın sterilizasyonu sonrasında oluşabilecek kontaminasyonlu kültürlerin eliminasyonu ile steril stoğun oluşması sağlanabilmektedir. Ancak, endojen kaynaklı kontaminasyona sebep olan eksplantların kullanılmasının mecburi hale geldiği durumlarda bu eksplantlar ile steril bir kültür oluşturmak için kantaminasyonun tipine göre besi ortamına antibiyotik eklenmesi gerekmektedir. Bu sayede steril kültürler elde edilebilmektedir. Kültürdeki kontaminasyonla mücadelede etmek için, bitki hücrelerine toksik olmayan, kültürde bulunan mikroorganizmaya karşı etkili olan ve geniş bir spektruma sahip antibiyotiklerin seçilmesine dikkat edilmelidir.

KAYNAKÇA

- Babaoğlu, M., Yorgancılar, M., ve Akbudak, M. A. (2001). Doku kültürü: temel laboratuvar teknikleri. *Editörler M. Babaoğlu, E. Gürel, S. Özcan), Bitki Biyoteknolojisi, I.* Selçuk Üniversitesi Yayınları, Konya.
- Barrett, C., ve Cassells, A. C. (1994). An evaluation of antibiotics for the elimination of *Xanthomonas campestris* pv. *pelargonii* (Brown) from *Pelargonium x domesticum* cv. 'Grand Slam' explants in vitro. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 36*(2), 169-175.
- Buckseth, T., Singh, R. K., Sharma, A. K., Sharma, S., Moudgil, V. ve Saraswati, A. (2017). Effect of Streptomycin and Gentamycin on in vitro growth and cultural contaminants of potato cultivars.
- Cassells, A. C. (1991). Problems in tissue culture: culture contamination. In *Micropropagation* (pp. 31-44). Springer, Dordrecht.
- Dolapçı, İ. (2016). Sterilizasyon ve Dezenfeksiyon. Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Tıbbi Mikrobiyoloji Ders Notları.
- Eed, A. M., Reddy, S. A., Reddy, K. M., Silva, J. A. T., Reddy, P. V., Beghum, H., ve Venkatsubaiyah, P. Y. (2010). Effect of antibiotics and fungicides on the in vitro production of *Citrus limonia* Osbeck nodal segment and shoot tip explants. *The Asian and Australasian of Plant Science and Biotechnology, 4*(1), 66-70.
- Etebu, E. ve Arikekpar, I. (2016). Antibiotics: Classification and mechanisms of action with emphasis on molecular perspectives. *Int. J. Appl. Microbiol. Biotechnol. Res, 4*(2016), 90-101.
- Habiba, U., Reza, S., Saha, M. L., Khan, M. R. ve Hadiuzzaman, S. (2002). Endogenous bacterial contamination during in vitro culture of table banana: Identification and prevention. *Plant Tissue Cult, 12*(2), 117-124.
- Leelavathy, S. ve Sankar, P. D. (2016). Curbing the menace of contamination in plant tissue culture. *Journal of pure and applied microbiology, 10*(3), 2145-2152.
- Madigan, M. T. ve Martinko, J. M. (2006). Brock biology of microorganisms. 11th edition. Pearson Prentice Hall Inc.

- Monthony, A. S., Page, S. R., Hesami, M. ve Jones, A. M. P. (2021). The past, present and future of Cannabis sativa tissue culture. *Plants*, 10(1), 185.
- Onay, A., Yıldırım, H., Pirinç, V., Tilkat, E., Çiftçi, Y. Ö., Akdemir, H., Süzerer, V., Çalar, N., Binici, M., Akdemir, Ö. F., ve Kılınç, F. M. (2012). Bitkilerin Biyoteknolojik Yöntemlerle Ticari Çoğaltımı; Mevcut ve Gelecekteki Durum. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 1(2), 11-28.
- Phillips, R., Arnott, S. M. ve Kaplan, S. E. (1981). Antibiotics in plant tissue culture: Rifampicin effectively controls bacterial contaminants without affecting the growth of short-term explant cultures of *Helianthus tuberosus*. *Plant Science Letters*, 21(3), 235-240.
- Pollock, K., Barfield, D. G. ve Shields, R. (1983). The toxicity of antibiotics to plant cell cultures. *Plant cell reports*, 2(1), 36-39.
- Sharma, H. C., Crouch, J. H., Sharma, K. K., Seetharama, N. ve Hash, C. T. (2002). Applications of biotechnology for crop improvement: prospects and constraints. *Plant Science*, 163(3), 381-395.
- Shields, R., Robinson, S. J. ve Anslow, P. A. (1984). Use of fungicides in plant tissue culture. *Plant Cell Reports*, 3(1), 33-36.
- Singh, C. R. (2018). Review on problems and its remedy in plant tissue culture. *Asian Journal of Biological Sciences*, 11(4), 165-172.
- Stasolla, C. ve Thorpe, T. A. (2011). Tissue culture; historical perspectives and applications. In A. Kumar, & S. K. Sopory (Eds.), *Applications of Plant Biotechnology* (in press). Dordrecht, The Netherlands Kluwer Academic Publishers.
- Sütçü, U. D. M. ve Somer, A. (2015) Mikoplazma Enfeksiyonları. Çocuk Enfeksiyon Hastalıkları Edition: 2. Baskı Chapter: 31 Publisher: Akademi yayınevi Editors: Nuran Salman, Ayper Somer, Işık Yalçın
- Talaro, K. P. ve Chess, B. (2008). Foundations in microbiology. 8th Ed. McGraw Hill, New York.
- Thorpe, T. A. (1990). The current status of plant tissue culture. In S. S. Bhojwani (Ed.), *Plant tissue culture: Applications and limitations* (pp. 1-33). Amsterdam: Elsevier.

Thorpe, T. A. (2007). History of plant tissue culture. *Molecular Biotechnology*, 37, 169–180.

Wright, G. D. (2010). Q & A: Antibiotic resistance: Where does it come from and what can we do about it? *BMC Biol.* 8:123.

BÖLÜM 14

ABIYOTİK STRES KOŞULLARINDA ANTIOKSİDATİF SAVUNMA MEKANİZMASI ÜZERİNE SELENYUMUN ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Sibel BOYSAN CANAL¹

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Van, Türkiye. sibelboysancanal@yyu.edu.tr

GİRİŞ

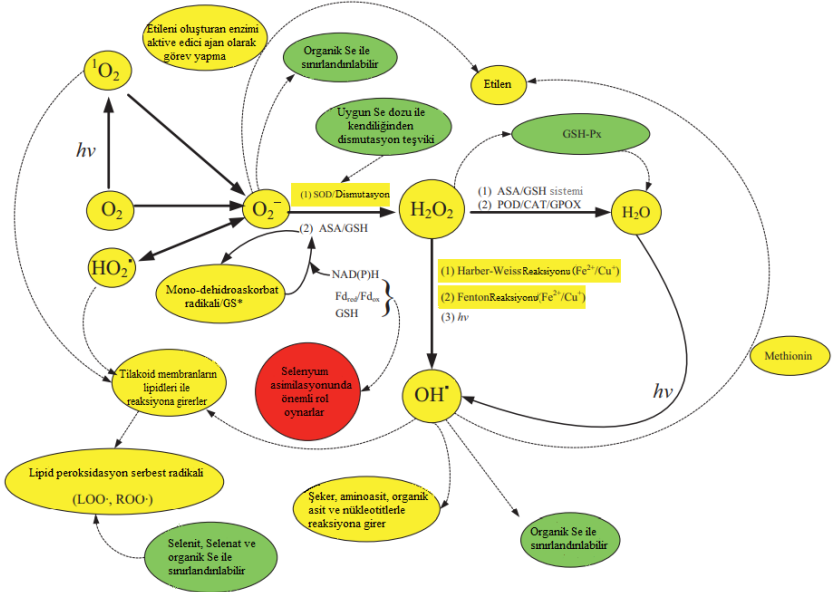
Selenyum (Se) 1817 de İsveçli bir kimyager J.J. Berzelius tarafından keşfedildi. Dünya kabuğunda ve genellikle kayalarda ve toprakta nadiren saf olarak bulunur. Bu elementin besinsel değeri 1957 yılında keşfedilmiştir. Bundan sonra bitki ve hayvanlarla ilgili selenyum araştırmaları artmıştır (Rotruck ve ark., 1973). Antioksidatif enzim olan glutatyon peroksidazın (GPX) Se'ye sahip olduğunu ortaya çıkardığında daha da ilgi topladı (Thiry ve ark., 2012). Bundan sonra Se aktif araştırma konusu haline geldi ve daha ileri çalışmalar hem bitkilerde hem de hayvanlarda temel işlevleri taşıyan çeşitli enzimler ve proteinlere dahil edilmesi sağlandı. Özellikle stres koşullarında bitki büyümesi, gelişmesi ve korunmasındaki rolü nedeniyle kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır.

1. ABİYOTİK STRES KOŞULLARINDA ANTIOKSİDATİF SAVUNMA MEKANİZMASI ÜZERİNE SELENYUM ETKİSİ

Reaktif oksijen radikalleri ortaklanmamış (eşleşmemiş) elektron içeren atom, atom grubu veya moleküller olarak tanımlanırlar. Serbest radikallere örnek olarak; süperoksit radikali, hidrojen peroksit, hidroksil radikali bu radikallerden bazılarıdır (Hurst ve ark., 1997). Hücre membranlarındaki yağ asitleri ve kolesterollerin doymamış bağları kolay bir şekilde serbest radikallerle reaksiyona girerek peroksidasyon ürünleri oluşturmaktadır. Kükürt ve doymamış bağ içeren tirozin, triptofan, histidin, fenilalanin, sistein ve metiyonin gibi amino asitlere sahip proteinler serbest radikallerden kolaylıkla etkilenmektedir. Özellikle karbon merkezli organik radikaller ve sülfür

radikalleri bu etki sonucunda oluşmaktadır. Serbest radikallerin etkileri sonucunda, yapılarında fazla sayıda disülfit bağı bulunan albümin ve immünoglobülin G (IgG) gibi proteinlerin tersiyer yapıları bozulmaktadır. Serbest radikaller DNA'yı etkileyerek hücrede mutasyona ve ölüme yol açarlar (Scandalious, 1993; Foyer ve Fletcher, 2001). Biyolojik serbet radikallerin elektronları hücrelerde bulunan diğer moleküllerle reaksiyona girerek oksidatif bir stres oluştururlar. Oksidatif stres, organizmalardaki antioksidan ve prooksidan dengenin bozulması demektir. Serbest radikaller; lipidler, proteinler ve nükleotidler gibi temel hücre yapıtaşlarında bozulmaya sebep olabilmektedir (Kopani ve ark., 2006). Oluşan radikallere karşı bitkiler sahip oldukları savunma sistemi sayesinde korunurlar. Reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşumlarını ve meydana getirdikleri hasarları önlemek için "antioksidatif enzimler" devreye girmektedir. Antioksidatif enzimler (Örneğin; SOD, GPX, APX, CAT, POD) sayesinde bitki oksidatif stres etkisinden korunur (Pellegrini ve ark., 2009). Selenyumun bitkilerin antioksidatif savunma mekanizmasında yer alan enzimleri aktive ettiği bildirilmiştir (Xue ve ark., 2001). Bununla birlikte Se'nin yararlı etkileri bitki türlerine ve ayrıca bitkinin maruz kaldığı stres türüne göre değişiklik göstermektedir. Tuzluluk, kuraklık, toprak ve sudaki ağır metal kirliliği bitkilerin çoğunlukla maruz kaldığı abiyotik stres koşullarıdır (Hirt ve Shinozaki, 2003). Yapılan çalışmalarda, düşük dozda selenyumun uygulanması çeşitli abiyotik stres koşullarında, seleno protein sentezini düzenlediği, bitkinin antioksidatif enzim aktivitesini artırarak bitkinin gelişimini ve büyümesini artırdığı bulunmuştur (Hartikainen ve Xue, 2000;

Djanaguiraman ve ark., 2005; Hasanuzzaman ve ark., 2014). Düşük dozda uygulanan selenyum (<5 mg kg⁻¹) çeltik bitkisinde GSH ve AsA içeriğinde, SOD, POD, CAT enzim aktivitelerinde artışa neden olması bitkinin gelişimi ve büyümesinde iyileşmeye neden olmuştur (Dai ve ark., 2019).



Şekil 1. Selenyum'un Stres Koşullarında Reaktif Oksijen Radikallerinin Üretimi ve Fonksiyonları Üzerine Etkisi (Feng ve ark., 2013).

Şekil 1'de selenyum'un stres altındaki bitkilerde 3 metabolik yol ile reaktif oksijen radikallerinin etkilerini düzenleyebilir 1-Selenyum içeren bileşiklerle serbest radikallerin reaksiyonu yoluyla 2-antioksidatif enzim aktivitelerini düzenleyerek 3-reaktif oksijen radikallerinin bir kısmını indirgeyerek ve bir kısmını yükseltmesi yoluyla gerçekleşmektedir. Nowak, ve ark., 2004 buğday bitkilerinde eklenen Se yanıt olarak oksidoredüktaz enzimlerinin aktivitelerinde önemli bir değişiklik olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, sera

deneyi, 0.05 mM kg⁻¹'de Se ile muamele edilmiş bitkilerde hem katalaz (CAT) hem de peroksidaz (POD) aktivitesinde bir artış olduğunu ortaya koymuştur. En yüksek konsantrasyon (0.45 mM kg⁻¹) her iki enzim aktivitesinde de azalmaya neden olduğunu ifade etmişlerdir. Tüm bu sonuçlara göre, en düşük Se konsantrasyonunun buğday bitkilerindeki antioksidan savunmayı olumlu yönde etkilediği, ancak daha yüksek konsantrasyonların stres tepkilerini tetiklediği bu nedenle bir prooksidan olarak düşünülebileceği ifade edilmiştir. Çeşitli araştırmalar, Selenyum'un yüksek bitkilerde oksidatif strese karşı koruyucu bir rolünün, artan GPX aktivitesi ve azalmış lipid peroksidasyon ile bağdaştığını göstermiştir (Xue ve Hartikainen, 2000; Djanaguiraman ve ark., 2005; Cartes ve ark., 2005).

1.1. Tuz Stresi

Tuz stresi, bitkilerde oksidatif strese neden olan, serbest radikallerin üretilmesine bağlı olarak bitkinin gelişimi ve büyümesinde önemli ölçüde gerilemeye sebep olan etkenlerdendir. Araştırmacıların elde ettikleri sonuçlara göre, düşük seviyede uygulanan selenyum tuz stresinde lipid peroksidasyona karşı bitkinin membran dayanıklılığını artırmaktadır. Bununla birlikte, tuz stresi koşullarında, selenyumun antioksidatif enzimlerden SOD, CAT, POD ve GPX, AsA aktivitesinde artışa neden olduğu ayçiçeği (Habibi, 2017), mısır (Ashraf ve ark., 2018), sarımsak (Astaneh ve ark., 2019) bitkilerinde saptanmıştır. Ashraf ve ark., (2018), Se (20 mg L⁻¹) uygulamasının tuz stresi altındaki mısır bitkisinde hem büyümeyi ve klorofil içeriğini artırdığını hem de yüksek MDA ve H₂O₂ seviyelerinin neden olduğu oksidatif hasarı

azalttığını bulmuşlardır. Habibi (2017), tuz stresi koşullarında, Se'nin sodyum selanat (Na_2SeO_4) olarak 5 mg kg^{-1} düzeyinde uygulanması, optimum fotokimyasal fonksiyonlar için gerekli olan Na / K oranının iyileştirilmesi ile doğrudan bağlantılı olan antioksidan enzimlerin aktivasyonu ile tuz stresinin zararlı etkisini azaltmaktadır

1.2. Ağır Metal Stresi

Ağır metaller, biyolojik yaşam üzerinde yüksek fitotoksik etkiye sahip ve biyolojik yaşamdan ayrı olarak düşünülen elementlerdir. Bu elementlere; Hg, As, Pb, Ag ve Cd örnek gösterilebilir. (Hirt ve Shinozaki, 2003). Güçlü fitotoksik etkiye sahip olan ağır metaller bitki hücrelerine girdiği zaman birçok metabolik ve fizyolojik fonksiyonların bozulmasına yol açmaktadır. Bununla birlikte ağır metal toksisitesi tarafından bitki gelişiminin engellenmesi ve oksidatif stresin artması reaktif oksijen radikallerinden kaynaklanmaktadır (Hossain ve ark., 2010). Ağır metal stresi altındaki bitkilere selenyum uygulaması ile toksik etkiyi azaltan Se-metal kompleksinin veya fitoşelatin (PC) oluşumu etkin olmaktadır (Vorobets, 2006; Filek ve ark, 2008; Hawrylak-Nowak ve ark., 2014; Sieprawska ve ark., 2015). Filek ve ark, (2008) yaptıkları çalışmada, Selenyum, rapa bitkisinin MDA içeriğinde azalmaya, SOD, CAT, APX ve GPX enzim aktivitelerinde değişime neden olarak Cd'nin toksik etkisinde iyileşmeye neden olmuştur. Wu ve ark., (2016) yapmış oldukları çalışmada, selenit (SeO_3^{2-}) uygulaması kolza tohumlarının kök ve sürgünlerinde Cd ve Pb birikiminde azalmaya neden olurken aynı zamanda kök den sürgüne taşınımını azaltmıştır. Sun ve ark., (2010) yapmış oldukları çalışmada

Se' un Cd stresi altındaki sarmısak bitkisinin büyümesi ve detoksifikasyonu etkisini gözlemlemişlerdir. Selenyumun koruyucu rolünde, 1- Cd'nin aktif hücrel bölgelerden uzak tutulması 2- Cd 'ye bağlı olarak oluşan serbest radikallerini azaltmak için Selenyumun aktive edilmesi 3- Selenyumun fitoşellatin aktivitesini düzenlemesi sarmısak bitkisinde Cd'nin etkilerini hafifletmiştir. Civa (Hg) endistürüyel aktiviteler, madenlerden yayılan hem çevreye hemde topraklar üzerinde kirletici özelliğe sahip bir ağır metaldir. Oksidatif strese ve lipid peroksidasyona sebep olabildiği gibi, fotosentez ve klorofil üretiminde azalmaya neden olur (Zhao ve ark., 2013). Hg stresi koşullarında, selenit ve selenat formunda 1 mg kg⁻¹ selenyum uygulandığı zaman soğan (*Allium sativum*) bitkisinde Hg ağır metalinin absorpsiyonu, taşınımı ve birikimini azaltmıştır (Zhao et al., 2013). Kurşun (Pb) stresine karşı selenyumun etkisi oksidatif stresi azaltıcı etkiye sahip olmasıdır (Hue et.al., 2014). Bakla (*Vicia faba L*) bitkisine 1,5 µM seviyesinde uygulanan selenit süperoksit radikallerinin üretimini ve konsantrasyonunu kök hücrelerinde azaltıcı etkiye sahiptir. Bununla birlikte POD ve GSH-Px enzim aktiviteleri ve protein olmayan thiol içeriğinde artışa neden olmuştur (Mroczek-Zdyrska and Wojcik, 2012).

1.3. Kuraklık Stresi

Kuraklık stresi, bitkilerde mekanik ve metabolik olduğu kadar oksidatif etkilere sahiptir (Lewit, 1980). Bitki hücrelerinde suyun azalmasıyla turgor basıncının düşmesi kuraklığın mekanik etkisi görülmektedir. Diğer taraftan, stres koşullarında iyon birikmesi, membran ve protein

yapısının bozulmasına neden olmaktadır (Kalefetoğlu ve Emekçi, 2005). Bu nedenlerden dolayı hücre normal fonksiyonlarına devam edemez. Diğer etki oksidatif stres sonucu yaprakların kloroplastlarında oluşan reaktif oksijen radikallerinin [(örneğin; süperoksit (O_2^-), hidrojen peroksit (H_2O_2), hidroksil ($.OH$), nitrik oksit ($.NO$)] üretilmesidir (Pellegrini ve ark., 2002). Reaktif oksijen radikallerinin hücre hasarına karşı nötralize etmeye çalışan metabolizma üzerindeki etkilerini sınırlandırmaya çalışan enzim ve enzim yapısında olmayan antioksidantlardır (Pellegrini ve ark., 2009). Selenyum kuraklık stresi koşullarında uygulandığında antioksidatif enzimlerden SOD, POD, CAT, AsA ve GSH aktivitelerinde artışa neden olduğu bulunmuştur (Xiao ve ark., 2008; Hasanuzzaman ve ark., 2010; Habibi, 2013). Yao ve ark. (2009), kuraklık şartlarında buğday bitkisine uygulanan selenyum'un 1.0, 2.0 ve 3.0 mg Se kg^{-1} seviyeleri buğday fidelerinde prolin içeriğinde, POD ve CAT enzim aktivitelerinde ve klorofil içeriğinde artışa neden olurken en düşük düzeyi (0.5 mg Se kg^{-1}) buğday fidelerinde prolin, karotenoid gibi bazı antioksidatif aktiviteleri etkilemesine rağmen önemli bir etki yaratmamıştır.

2. SELENYUMUN BİTKİ BÜYÜME VE GELİŞİMİNE ETKİSİ

Selenyum stres koşullarında uygun konsantrasyonda uygulandığı zaman bitki büyüme parametrelerinde artışa neden olmaktadır. Düşük seviyede uygulanan Se (1-5 μM) tuz stresi altındaki kuzu kulağı fidelerinin büyümesini teşvik etmiştir (Kong ve ark., 2005). Mozafariyan ve ark. (2014) kadmiyum stresine maruz bırakılan biber bitkisinde Se (0, 3 ve 7 μM) bitkilerde çiçek sayısını, meyve sayısını ve

meyve çapını iyileştirdiği tespit edilmiştir. Kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen çerezlik kabağın 2 farklı çeşidinin kullanıldığı çalışmada; sırasıyla 0, 1, 2 ve 4 mg Se kg⁻¹ düzeylerinin fide gelişimini artırdığı tespit edilmiştir (Gökkaya, 2016). Stres koşulları tohum çimlenme oranında azalmaya neden olur. Selenyumun çimlenme üzerinde koruyucu rolü optimum konsantrasyonuna bağlıdır. İki domates çeşidi ile yürütülen çalışmada düşük konsantrasyonda selenyum (0,004 mmol/L) tuz stresine karşı çimlenme oranını ve çimlenme indexini artırdığı tespit edilmiştir (Guangquan ve ark., 2010). Yem şalgamı (*Brassica rapa L.*) tohumlarına Se ile ön muamele edilmiştir. Selenyum'un etilen üretimini tetiklediği ve dormansi yi kırarak çimlenme oranında artışa neden olduğu tespit edilmiştir (Lyons ve ark., 2009). Selenyum yaşlanmayı geciktirme ve ayrıca yaşlanan marul ve çavdar fidelerinde büyümeyi teşvik etme becerisine sahiptir (Xue ve ark.,2001). Manaf (2016), Börülce (*cowpea*) bitkisinde yapraktan uygulanan Se (5-10 µM) düzeylerinin tuz stresi altında (50 mM NaCl) büyüme ve verime etkisi araştırılmıştır. Düşük seviyede 5 µM uygulanan Se yüksek seviyede 10 µM uygulanan Se'ye kıyasla büyüme ve verimle ilgili parametreleri daha çok artırdığı ve tuz stresine bağlı hasarı hafiflettiği tespit edilmiştir. Bunu 5 µM Se ile muamele eden bitkilerde artan fotosentez, klorofil ve bağıl su seviyesi ile ortaya koymuştur.

SONUÇ

Se abiyotik stres koşullarında (Kuraklık, ağır metal ve tuzluluk), hem bitkide oluşan reaktif oksijen radikallerinin oluşturduğu hasarı iyileştirmede hem de büyüme ve gelişme üzerinde olumlu etkiye sahip olduğu ortaya çıkmaktadır. Yapılan çalışmalarda, selenyumun farklı bitki çeşitlerine yüksek düzeyler yerine düşük ve orta seviyede uygulandığında bitkinin hem büyüme ve gelişimini artırdığı hem de oksidatif hasarı engelleyerek koruyucu role sahip olduğu ortaya konulmuştur. Günümüzde stresli koşullarda elementlerin (Se, Si, Fe, Zn. vs.) koruyucu rolü üzerinde çalışmalar artmaktadır. Tarla şartlarında özellikle yürütülen çalışmaların daha aydınlatıcı olması beklenir. Stresli koşullar altında selenyumun fizyolojik rolü ve uygun konsantrasyonu üzerine yapılan araştırma çalışmaları önem arz etmektedir. Bugüne kadar rapor edilen çalışmalar, toprakta ve bitkide selenyum hakkındaki bilgimizi arttırmakta ve ayrıca araştırmacıların cevaplamaya çalışması için daha fazla soru ortaya çıkarmaktadır.

KAYNAKÇA

- Ashraf, M. A. Akbar, A. Parveen, A. Rasheed, R. Hussain, I. Iqbal, M. (2018). Phenological application of selenium differentially improves growth, oxidative defense and ion homeostasis in maize under salinity stress. *Plant Physiol. Biochem.*, 123, 268–280.
- Astaneh, R. K. Bolandnazar, S. Nahandi, F. Z. Oustan, S. (2019). Effects of selenium on enzymatic changes and productivity of garlic under salinity stress. *S. Afr. J. Bot.*, 121, 447–455.
- Cartes, P. Gianfreda, L. Mora, M. L. (2005). Uptake of selenium and its antioxidant activity in ryegrass when applied as a selenate and selenite forms. *Plant and Soil*, 276, 359–367.
- Dai, Z. Imtiaz, M. Rizwan, M. Yuan, Y. Huang, H. Tu, S. (2019). Dynamics of selenium uptake, speciation, and antioxidant response in rice at different panicle initiation stages. *Sci. Total Environ.*, 691, 827–834.
- Djanaguiraman, M. Durga, D. Shanker, A. K. (2005). Selenium-an antioxidative protectant in soybean during senescence. *Plant Soil*, 272, 77-86.
- Feng, R. Wei, C. Tu, S. (2013). The roles of selenium in protecting plants against abiotic stresses. *Environmental and Experimental Botany*, 87, 58-68.
- Filek, M. Keskinen, R. Hartikainen, H. Szarejko, I. Janiak, A. Miszalski, Z. Golda, A. (2008). The protective role of selenium in rape seedlings subjected to cadmium stress. *J. Plant Physiol.*, 165, 833–844.
- Foyer, C. H. Fletcher, J. M. (2001). Plant antioxidants: colour me healthy. *Biologist*, 48, 115-120.
- Gökkaya, T. (2016). Selenyum uygulamalarının kuraklık stresi altındaki çerezlik balkabağı (*Cucurbita pepo* L) bitkisinin gelişimine ve antioksidant enzim aktivitelere etkileri. (yüksek lisans tezi, basılmamış). Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Guangquan, H. Jun, L. Manman, S. Huiying, L. (2010). Effects of selenium on the germination of tomato seeds and protective system against active oxygen under salt stress. *J. Shihezi Univ. Nat. Sci.*, Vol:4

- Habibi, G. (2013). Effect Of Drought Stres and Selenium Spraying On Photosynthesis And Antioxidant Activity Of Spring Barley. Payame Noor Universty. Tehran. Iran
- Habibi, G. (2017). Physiological, photochemical and ionic responses of sunflower seedlings to exogenous selenium supply under salt stress. *Acta Physiol. Plant.*, 39, 213.
- Hartikainen, H. Xue, T. Piironen, V. (2000). Selenium as an anti-oxidant and pro-oxidant in ryegrass. *Plant and Soil*, 225, (1-2), 193-200.
- Hasanuzzaman, M. Hossain, M. A. Fujita, M. (2010). Selenium in higher plants: physiological role, antioxidant metabolism and abiotic stress tolerance. *Journal of Plant Sciences*, 5, 354–375.
- Hasanuzzaman, M. Nahar, K. Alam, M.M. Fujita, M. (2014). Modulation of antioxidant machinery and the methylglyoxal detoxification system in selenium-supplemented *Brassica napus* seedlings confers tolerance to high temperature stress. *Biol. Trace Elem. Res.*, 161, 297–307.
- Hawrylak-Nowak, B. (2009). Beneficial effects of exogenous selenium in cucumber seedlings subjected to salt stress. *Biological Trace Element Research*, 132, 259–269.
- Hirt, H. Shinozaki, K. (2003). *Plant Responses to Abiotic Stres*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. No: 3540200371. New –York. 297.
- Hossain M. A. Hasanuzzaman, M. Fujita, M. (2010). Up-regulation of antioxidant and glyoxalase systems by exogenous glycinebetaine and proline in mung bean confer tolerance to cadmium stress. *Physiol Mol Biol Plant*, 26 259–272.
- Hu, Y. Norton, G. J. Duan, G. Huang, Y. Liu, Y. (2014). Effect of selenium fertilization on the accumulation of cadmium and lead in rice plants. *Plant Soil*, 384 (1–2),131–140.
- Hurst, R. Bao, Y. Jemth, P. Mannervi, B. Williamson, G. (1997). Phospholipid hydroperoxide glutathione peroxidase activity of rat class theta glutathione transferase T2-2. *Biochem. Soc. Trans.*, 25: 559.
- Kalefetoğlu, T. Emekçi, Y. (2005). The Effect of drought on plants and tolerance mechanisms. *G.U. Journal Science*, 723-740.

- Kong, L. Wang, M. Bi, D. (2005). Selenium modulates the activities of antioxidant enzymes, osmotic homeostasis and promotes the growth of sorrel seedlings under salt stress. *Plant Growth Regulation*, 45, 155–163.
- Kopáni, M. Celec, P. Danišovič, L. Michalka, P. Biró, C. (2006). Oxidative stress and electron spin resonance. *Clinica chimica acta*, 364, (1), 61-66.
- Levitt, J. (1980). Responce of plants to environmental stress. Acedemic Pres., Orlando
- Lyons, G. H. Genc, Y. Soole, K. Stangoulis, J. C. R. Liu, F. Graham, R. D. (2009). Selenium increases seed production in Brassica. *Plant Soil*, 318, 73–80.
- Manaf, H. H. (2016). Beneficial effects of exogenous selenium, glycine betaine and sea weed extract on salt stressed cowpea plant. *Ann. Agric. Sci.*, 61, 41–48.
- Mozafariyan, M. Shekari, L. Nowak, B. H. Kamelmanesh, M. M. (2014). Protective role of selenium on pepper exposed to cadmium stress during reproductive stage. *Biol Trace Elem Res*, 160, 97-107.
- Mroczek-Zdyrska, M. Wojcik, M. (2012). The influence of selenium on root growth and oxidative stress induced by lead in *Vicia faba L. minor* plants. *Biol Trace Elem Res* 147, 320–328.
- Pellegrini, N. Miglio, C. Del Rio, D. Salvatore, S. Serafini, M. Brighenti, F. (2009). Effect of domestic cooking methods on the total antioxidant capacity of vegetables. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60, (2), 12-22.
- Rotruck, J. T. Pope, A. L. Ganther, H. E. Hoekstra, W. G. (1973). Selenium: biochemical role as a component of glutathione peroxidase. *Science* 179, 588–590.
- Scandalious, J. G. (1993). Oxygen stress and superoxide dismutase. *Plant Physiology*, 101, 7-12.
- Sieprawska, A. Kornaś, A. Filek, M. (2015). Involvement of selenium in protective mechanisms of plants under environmental stress conditions–review. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*, 57, 1–12.
- Sun, H.W., Ha, J. Liang, S. X. Kang, W. J. (2010). Protective role of selenium on garlic growth under cadmium stress. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 41, 1195-1204.

- Thiry, C. Ruttens, A. Temmerman, L. D. Schneider, Y.-J. Pussemier, L. (2012). Current knowledge in species-related bioavailability of selenium in food. *Food Chem.*, 130, 767–784.
- Vorobets, N. (2006). Glutathione peroxidase activity in sunflower shoots exposed to lead and selenium. *Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska*, 19, 151–154.
- Wu, Z. Yin, X. Banuelos, G. S. Lin, Z. Q. Liu, Y. Li, M. Yuan, L. (2016). Indications of Selenium Protection against Cadmium and Lead Toxicity in Oilseed Rape (*Brassica napus* L.). *Front Plant Science*, 7, 1875.
- Xiao, X. Xu, X. Yang, F. (2008). Adaptive responses to progressive drought stress in two *Populus cathayana* populations. *Silva Fennica*, 42, 5, 705-719.
- Xue, T. Hartikainen, H. Piironen, V. (2001). Antioxidative and growth promoting effect of selenium in senescing lettuce. *Plant Soil*, 237, 55–61.
- Yao, X. Chu, J. Wang, G. (2009). Effects of drought stress and selenium supply on growth and physiological characteristics of wheat seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum*, 31, (5), 1031–1036.
- Zhao, J. Gao, Y. Li, Y. Hua, Y. Peng, X. Dong, Y. Li, B. Chen, C. Chai, Z. (2013). Selenium inhibits the phytotoxicity of mercury in garlic (*Allium sativum*). *Environ Res*, 125, 75–81.

BÖLÜM 15

TRANSGENİK BİTKİ ÜRETİMİ

Dr. Öğr. Üyesi Barış EREN^{1*}

Dr. Öğr. Üyesi Fatih DEMİREL²

Dr. Mehmet Zeki KOÇAK³

^{1*} Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Iğdır, Türkiye. bariseren@gmail.com

² Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Iğdır, Türkiye. drfdemirel@gmail.com

³ Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Iğdır Üniversitesi, Iğdır, Türkiye, mehmetzekikocak@gmail.com

GİRİŞ

Biyoteknolojik çalışmalar, artan dünya nüfusunun ve besin ihtiyacının karşılanması için dünya genelinde ilgi odağı olmaktadır (Tansey ve Worsley, 2014; Tizard ve ark., 2016; Eren, 2021). Biyoteknolojik gelişmeler, insanoğlunun artan beslenme ihtiyacına karşı geliştirdiği kaynak oluşturma çabasının bir sonucu denilebilir (Arvas ve Kaya, 2019). Yaklaşık 8 milyara ulaşan dünya nüfusu 2050 yılında 9,6 milyar ve 2050 yılından itibaren 10 milyarı geçeceği öngörülmektedir (UNFPA, 2022). Artan dünya nüfusuyla gıda güvenliğini sağlamak geleneksel tarım faaliyetleri ile mümkün olmayacağı düşünülmektedir. Ekim alanlarının yanlış kullanımı, toprak bozulması, su kaynaklarının azalması ve iklim değişikliği gibi sebeplerden dolayı, tarımsal zorlukların yanında gıda ihtiyacının yaklaşık %60 bir artışa ihtiyaç duyulduğu bildirilmektedir (Aldemita ve Hautea, 2018). Biyoteknolojik gelişmelerle desteklenen geleneksel tarım faaliyetleri beklenen en kötü ciddi açlık senaryolarının önüne geçebilir. Azalan tarım alanları ile birlikte, birim alandan en yüksek verimin elde edilebilmesi için biyoteknolojik yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır (Sudheer ve ark., 2020). Geleneksel tarım yöntemleri artan nüfusun besin ihtiyacını karşılayamadığı ve bunun sonucunda da transgenik bitki tarımının hızla artmaya başladığı bildirilmektedir (Tome ve ark., 2017). Yarım asırdan beri, geleneksel tarım uygulamaları ile alakalı yapılan yanlış yaklaşımlar toprak yapısının bozulmasına ve iklimsel değişimlere neden olmuştur. Ayrıca klasik ıslah yöntemleri ürünlerinin elde edilmesi uzun yıllar almasından dolayı biyoteknolojik yöntemlere

yönelimi de arttırmıştır (Kaya, 2015; Sudheer ve ark., 2020). Sayılan tüm bu nedenlerin sonucunda 1990'lı yıllardan beri, ekonomik değeri yüksek bitkilerin de içinde yer aldığı transgenik bitkilerin üretiminin giderek arttığı gözlenmektedir (Aldemita ve Hautea, 2018). Transgenik bitkilerin, artan dünya nüfusunun besin ihtiyacını karşılamakta çok büyük öneme sahip olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle, azalmakta olan tarımsal alanlarda yeterli mahsulün alınması için tarımsal ürünlerde biyoteknolojik yöntemlerle bitkisel ürünler geliştirilmektedir. Modern tarım uygulamalarının bir ürünü olan transgenik bitki üretiminin bu kadar hızlı popüler olmasının, gıda ihtiyacını karşılamaya aday olan bitkilerin besin içeriklerindeki değişim ve iyileştirmelerin yapılması ve üreticilere sağladığı ekonomik ve sosyal kalite gibi sonuçların olduğu bilinmektedir (James, 2014; Abiri ve ark., 2015).

1. TRANSGENİK BİTKİLER

Transgenik bitkiler diğer bir ifadeyle Genetiği Değiştirilmiş Organizmalar (GDO) modern tarım uygulamalarının en genç mahsullerinden biridir. Klasik ıslah metotları dışında, genetik mühendisliği teknikleri ile canlının genetik yapısında meydana gelen değişimler sonrası ortaya çıkan canlılara transgenik canlılar (GDO) denilmektedir (Şakiroğlu, 2010; Abiri ve ark., 2015; Arvas ve Kaya, 2019). Transgenik hayvanlar daha çok laboratuvar çalışmalarında kullanılmak üzere üretilirken, transgenik bitkiler transgenik hayvanların aksine tarımsal faaliyetlerde yerini almış bulunmaktadır (Şakiroğlu, 2010; Abiri ve ark., 2015). Transgenik bitki üretiminin

biyoteknolojik yöntemler aracılığıyla özellikle beslenme açısından fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Özellikle gelişmemiş ülkelere bakıldığında ciddi bir beslenme sorunu olduğu görülmektedir. Biyoteknolojik yaklaşımlarla yeterli beslenme ve bitki besin içeriğinde değişimler sayesinde açlık problemlerine çözüm getirilebileceği düşünülmektedir (Lemaux, 2008). Örneğin gelişmiş provitamin A içeriğine sahip transgenik prinç (golden rice) ile her yıl görme bozukluğu yaşayan yaklaşık 500 bin çocuk için A vitamini eksikliğinin giderilebileceği düşünülmektedir (Goldstein ve ark., 2005; Kulaç ve ark., 2006).

Transgenik bitkilerin üretimindeki başlıca amaçlar;

- a) Verim ve kalitenin artırılması,
- b) Hastalık ve zararlılara karşı direnç,
- c) Biyotik ve abiyotik stres toleransı,
- d) Bitki besin içeriğinde değişim,
- e) Bitki olgunlaşmasında gecikme ve meyve yumuşatma,
- f) Bitki besin içeriği ve organlarında modifiye, olarak sıralanmıştır (ISAAA 2022a).

Transgenik bitki ürünlerinin gelişim süreci birincil, ikincil ve üçüncül nesil olarak sınıflandırılmıştır (Smith, 1996; Holmberg ve Bülow 1998). İlk transgenik ürünler, stres faktörlerine karşı toleranslı, hastalık ve zararlılara karşı dirençli olmaları, sonraki transgenik ürünlerin daha da gelişmesine olanak sağlamış ve şu anda dünyada ticari öneme sahip birçok üründe besin içeriği ve raf ömrü gibi önemli kriterler açısından ekonomik ürünler ortaya koymaktadır (Herrera-Estrella ve ark., 1983; Howarth ve ark., 2003; Öktem,

2004; Ammann, 2008). Değiştirilen genomik özelliklerine göre bazı transgenik bitkiler Tablo 1 'de verilmiştir.

Genetik mühendisliği teknikleri, klasik ışlah metotlarının aksine bitkilerin geliştirilmesi ve iyileştirilmesinin daha kısa bir yoludur. Çünkü transgenik metotlar, birbirinden bağımsız türler arasında genomik değişimlere olanak sağlamaktadır.

Transgenik bitki metodolojisinde;

- Bakteri aracılığı ile bitki transformasyonu
- Aerosol Işın Enjeksiyonu
- Protoplastlara kimyasal aracılı giriş ve rejenerasyon
- Konvansiyonel yetiştirme- transgenik donör(ler) içeren çapraz hibridizasyon ve seçim
- Doğrudan DNA transfer sistemi
- Bitki hücrelerinin veya dokularının mikropartikül bombardımanı
- Polen tüpü yolu (PTP) gibi birçok genetik mühendisliği teknikleri uygulanmaktadır (ISAAA 2022a).

Tablo 1. Değiştirilen Genomik Özelliklerine Göre Transgenik Bitkiler (ISAAA 2022a)

Değiştirilen Özellikler	Transgenik Bitkiler
Antibiyotik Direnci	Yonca, elma, hindiba, kanola, pamuk, patlıcan, erik, okaliptüs, keten, kavun, papaya, petunya, kavak, patates, pirinç, aspir, soya, kabak, şeker pancarı, şeker kamışı, tütün, domates, mısır
Anti Alerjik	Pirinç
Azaltılmış Siyah Nokta	Patates
Böcek Direnci	Pamuk, börülce, patlıcan, kavak, patates, pirinç, soya fasulyesi, şeker kamışı, domates, mısır
Değişen Lignin Üretimi	Yonca
Doğurganlık/Fitaz Üretimi	Kanola, mısır
Düşük Gosipol	Pamuk
Erkek Kısırlığı	Kanola, hindiba, mısır
Esmereleşmeyen	Elma
Gecikmiş Olgunluk/Yumuşatma	Karanfil, kavun, ananas, domates
Gelişmiş Fotosentez/Verim	Soya fasulyesi, mısır
Gelişmiş Provitamin A İçeriği	Pirinç
Görsel İşaretleyici	Pamuk, papaya, petunya, erik, soya fasulyesi, şeker pancarı, mısır
Hacimsel Odun Artışı	Okaliptüs
Herbisit Toleransı	Yonca, kanola, karanfil, hindiba, pamuk, sürünen bent, pirinç, keten, soya fasulyesi, şeker pancarı, tütün, buğday, mısır
İndirgeyici Şeker ve Asparagin	Patates
Kuraklık Stres Toleransı	Soya fasulyesi, şeker kamışı, mısır
Mannoz Metabolizması	Pirinç, mısır
Alfa Amilaz/Amino Asit	Mısır
Modifiye Çiçek Rengi	Karanfil, petunya, gül
Modifiye Meyve Rengi	Ananas
Modifiye Nişasta/Karbonhidrat	Patates
Modifiye Yağ/Yağ Asidi	Kanola, aspir, soya fasulyesi
Nikotin Azaltma	Tütün
Nopalin Sentezi	Keten
Viral Hastalık Direnci	Fasulye, papaya, erik, patates, kabak, tatlı biber, domates
Yaprak Geç Yanıklığı Direnci	Patates

Transgenik çalışmalar ilk olarak ABD’de *Escherichia coli* canlısında yürütülmüş olup, 1983 yılında ise ilk genomik değişim tütün bitkisinden elde edilmiştir (Kenward ve ark., 1993).

1994 yılında ticari olarak ekim ve pazar onayı alan ilk bitki ise transgenik Flavır-Savr domatesi olmuştur (Redenbaugh ve ark., 1994). Elde edilen güncel verilere göre 544 genomik değişim olayı kayıt altına alınmıştır. En fazla genomik değişim, 244 çalışma ile Mısır, 67 çalışma ile pamuk, 51 çalışma ile patates, 49 çalışma ile kanola ve 43 çalışma ile soya fasulyesi bitkisinde yürütülmüştür (ISAAA, 2022b).

Tablo 2: En Fazla GD Çalışmasının Yürütüldüğü ve Ekimi Yapılan Bitkiler.

Transgenik Bitki	GD* Sayısı	Ekilen Alan
Soya Fasulyesi	43	95.9 milyon ha
Mısır	244	58.9 milyon ha
Pamuk	67	24.9 milyon ha
Kanola	43	10.1 milyon ha
Yonca	5	1.3 milyon ha

* GD: Genomik Değişim, Ha: Hektar (ISAAA, 2020)

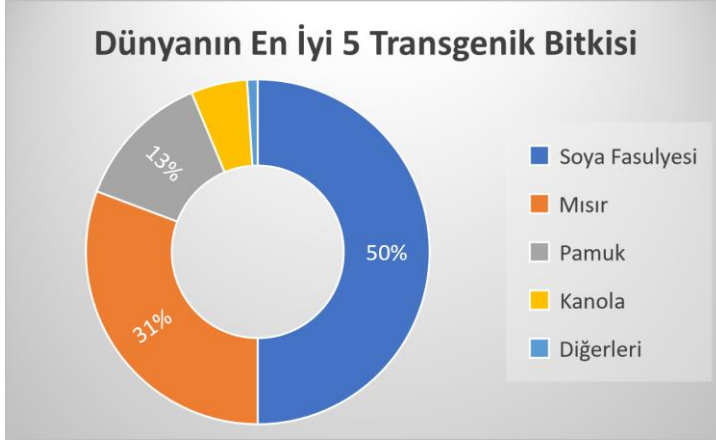
2. TRANSGENİK BİTKİLERİN DÜNYADAKİ ÜRETİMİ

Transgenik bitkiler son yılların en hızlı kabul gören modern tarım teknolojisi ürünü olduğu düşünülmektedir (Aldemita ve ark., 2015; Tewary, 2020). Transgenik bitki tarımı 1996 yılından günümüze ticari bir boyut kazanmış ve artan dünya nüfusunun beslenme ihtiyacını karşılamayı hedeflemektedir. 2019 yılında transgenik ürünleri

benimseyen 29 ülkeden 24'ünü geliştirmekte olan ülkeler ve 5'ini geliştirmiş ülkeler oluşturmaktadır. Dünya çapında geliştirmekte olan ülkeler transgenik ürünleri geliştirmiş ülkelere göre daha hızlı benimsemektedir. ISAAA'nın Ticarileştirilmiş Biyoteknoloji /Transgenik Bitkilerin Küresel Durumu: 2019 raporuna göre, geliştirmekte olan ülkeler 2019'da daha fazla transgenik bitki yetiştirmeye devam ettiğini bildirmektedir. Ayrıca küresel transgenik ürün alanının %56'sı geliştirmekte olan ülkelerde olduğu bildirilmiştir (ISAAA, 2019).

Genetiği değiştirilmiş bitkiler 1996 yılından beri 30'dan fazla ülkede kabul görmüş ve ekimi yapılmıştır. Son verilere göre 1996 yılından bugüne kadar 2.7 milyar hektar arazide yaklaşık 17 milyon çiftçi tarafından transgenik bitki üretimi yapılmıştır (ISAAA, 2019). Bu veriler doğrultusunda 1996 yılından bu yana transgenik ürün üretimi yaklaşık 113 kat artış göstermiştir (ISAAA, 2018). Modern tarım uygulaması ürünü olan transgenik bitki üretiminin en büyük üreticisi %37.6'lık pay ile Amerika Birleşik Devletleri kabul edilmektedir. Latin Amerika'da ise 10 ülkede transgenik bitki üretimi yapılmıştır. Dünya genelinde en fazla üretimi yapılan transgenik bitki ise %50'lik bir dilimle soya fasulyesi olmuştur (Grafik 1).

İspanya, Avrupa'da transgenik mısır eken lider ülke olma özelliğini korumaktadır. Hindistan ise 2019 yılında 6 milyondan fazla çiftçi ile 11,9 milyon hektar transgenik pamuk ekimi yaparak dünyanın en büyük transgenik pamuk üreticisi olmuştur (ISAAA, 2019).



Grafik 1: Dünyanın En İyi 5 Transgenik Bitkisi (ISAAA, 2018).

Transgenik bitki üretiminde 1996 yılından 2016 yılına kadar 186.1 milyar dolar çiftlik gelir kazancı elde edilmiştir. Bununla birlikte aynı sürede herbisit ve böcek ilacı kullanımının da %8,4 azaldığı ve yaklaşık 17 milyon çiftçi ve ailesine sosyo-ekonomik kazanç sağladığı tahmin edilmektedir (ISAAA, 2018).

2.1. Transgenik Bitki Çalışmalarında Son Gelişmeler

Son yıllarda gelişmekte olan ülkelerde transgenik ürünlerin kabulü ve ekimi gelişmiş ülkelere göre daha çok yaygınlaşmıştır. 2018 yılından bu yana transgenik bitkilerin benimsenmesi ve üretiminde Afrika kıtası, transgenik bitki yetiştiren ülke sayısını iki katına çıkarmıştır. Ayrıca Etiyopya, Malavi, Nijerya, Güney Afrika, Sudan ve Esvatini ülkeleri de transgenik bitki ekimine onay vererek üretim yapan ülkelere olmuştur. Endonezya 2018 yılında transgenik şeker kamışı bitkisinin ekimine ilk defa onay vermiştir. Nijerya, transgenik bitki üretimi için bakla kurduna dayanıklı transgenik bürülçenin ticari ekimini

onaylamıştır. Kenya ise transgenik pamuk ekimi için onay veren ülkeler arasına girmiştir (ISAAA, 2018). Hindistan'da 2019 yılında 6 milyondan fazla çiftçi tarafından 11.9 milyon ha alanda transgenik pamuk ekimi yapılmıştır. Ayrıca 2019 yılında Hindistan ile birlikte Nijerya, Malavi ve Etiyopya ilk defa transgenik pamuk ekimi yapan ülkeler arasına girmiştir (ISAAA, 2019).

Bangladeş Tarımsal Araştırma Enstitüsü (BARI) yetiştiricileri hem patlıcan meyvesine hem de sürgün kurduna (EFSB) ve aynı zamanda bakteriyel solgunluğa dayanabilen iki patlıcan çeşidi geliştirdiklerini bildirmişlerdir. Elde edilen veriler doğrultusunda transgenik patlıcan yetiştiren çiftçilerin ekonomik olarak %55 daha fazla kazanç sağladıkları ve daha az kimyasal pestisit zararı olduğunu belirtmişlerdir (ISAAA, 2021).

Gelişmemiş ülkeler için gıda güvenliği günümüz şartlarında bile olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Güney Afrika'da üretilen transgenik beyaz mısır, temel gıda ürünü olarak gıda güvenliğine katkı sağlamaktadır. Yapılan araştırmalara göre, 2001-2018 yılları arasında transgenik beyaz mısırdan yaklaşık 695 milyon dolar kazanç sağlandığı bildirilmektedir. Transgenik beyaz mısır, transgenik olmayan beyaz mısıra kıyasla, gıda güvenliğine yılda ortalama 4,6 milyon ek katkı sağladığı ve çevreye verilen zararı yıllık yaklaşık 291,721 dolar azalttığı bildirilmiştir (ISAAA, 2021).

Arjantin, buğday için HB4 kuraklık toleransı teknolojisini benimseyen ilk ülke olmuştur. HB4 teknolojisi ile geliştirilen buğday, mevsimsel kuraklıktan etkilenen mahsullerde önemli ölçüde verim artışı sağlamaktadır (ISAAA, 2021).

Dünyada ilk genom düzenlenmesi yapılmış transgenik domates Japonya'da piyasaya sürülmeye başlanmıştır. Japon hükümeti, genomu düzenlenmiş transgenik domatesin genetiği değiştirilmiş bir ürün olarak düzenlenmeyeceği kararı almıştır. CRISPR-Cas9 gen düzenleme teknolojisi kullanılarak geliştirilen transgenik domates, gevşemeye ve kan basıncını düşürmeye yardımcı olan yüksek düzeyde gama-aminobütirik asit (GABA) içerdiği raporlanmıştır (ISAAA, 2021).

Güçlü bir antioksidan etkiye sahip betanin, orijinal olarak domateslerde oluşmamaktadır ve pancardan doğal bir gıda boyası olarak elde edilebilmektedir. Leibniz Bitki Biyokimyası Enstitüsü (IPB) bilim adamları, pancar bitkisinden elde ettikleri boya ile mor domates üretmek için genetik mühendisliği yöntemlerini kullanmışlardır. Yapılan çalışmada betanin biyosentezini sağlayan genler, olgunlaşan meyvelerde aktive edilerek mor domates elde edilmiştir (ISAAA, 2021).



Resim 1: Genetik Modifiye Ürünü Olan Mor Domatesler (ISAAA, 2021).

3. TRANSGENİK BİTKİ TARIMININ GELECEĞİ

Klasik ıslah metotları dışında bitki geliştirmenin bir yolu olan bitki biyoteknolojisi, birbirinden bağımsız türler arasındaki biyolojik engelleri genomik değişimlerle başarmıştır (Uzogara, 2000). Bu genomik değişimler ile artan dünya nüfusuna karşı gıda güvenliğinin sağlanacağı, kaliteli ve beslenme değeri yüksek gıdaların elde edildiği ve çiftçilerin sosyo-ekonomik durumlarının iyileştirildiği transgenik bitki tarımının kazanımları olarak görölmektedir (Mariechel ve ark., 2013; Korth, 2008). Ancak halen çok genç bir modern tarım uygulaması ürünü olan transgenik yöntemler bazı etniklere göre ise doğal dengenin bozulmasına neden olacak raydan çıkmış bir yol olarak görölmektedir (Zülal, 2000). Doğal işleyişinde olan bir dengenin teknolojik müdahaleler sonucunda ne gibi sonuçlar doğuracağına kanıtlanması zaman alacaktır. Bu nedenle bazı toplumsal akımlar ve medyatik düşünceler teknolojinin güvenliği konusunda ikna olmayı beklemektedir (Çelik ve Balık, 2007). Ayrıca transgenik bitki üretimi gelişmelerinin özellikle dünya gıda güvenliği noktasında kötüye kullanımı ve su istimale açık olduğu düşünölmektedir. Bu nedenle transgenik çalışma raporları araştırma sonuçları ile birlikte, araştırma sonucunun doğurabileceği belirsizlikler ve sınırlamalar hakkında detaylı bilgi sağlamalıdır.

Tarih boyunca teknolojik birçok gelişme toplumsal olarak benimsenmesi zaman almıştır. Ancak bazı alanlarda örneğin farmakolojik gelişmeler istisnasız kabul görmüştür (Şakiroğlu, 2010). 2050 yılından itibaren 10 milyarı geçeceği düşünölen dünya nüfusunun gıda ihtiyacının karşılanması ciddi bir sorun olarak görölmektedir. Bu

nedenle gelişmekte olan ülkelerde transgenik bitki üretimi farmakolojik gelişmeler gibi hızlıca kabul görmektedir (ISAAA, 2021; Aldemita ve ark., 2015; Mariechel ve ark., 2013). Transgenik birçok ürün ilk üretiminden bu yana hızlıca market raflarında yerini almış ve gıda ürünü olarak kullanılmaktadır. Biyogüvenlik kanunları ülkelere göre farklılık gösterse de birçok ürün hükümet destekli ekilip tüketime başlanmıştır. Örneğin; Japon hükümeti, transgenik domatesi genetiği değiştirilmiş bir ürün olarak düzenlenmeyeceği kararı almıştır (ISAAA, 2021). Bu gelişmeler sonucunda ticari bir değer kazanan transgenik ürünlerin ekonomik payından dolayı çok daha hızlı benimsendiği ve hızla artacağı düşünülmektedir.

SONUÇ

Biyoteknolojik gelişmeler, çeyrek asırdır tarımsal faaliyetlere yön vermektedir. Genetik mühendisliği tekniği ile geliştirilen transgenik bitkiler ise, son yılların en hızlı benimsenen modern tarım uygulamalarının bir ürünü kabul edilmektedir. Öyle ki artan dünya nüfusunun beslenme ihtiyacını ve gıda güvenliği gibi sorunlarını ortadan kaldıracığı düşünülmektedir. Transgenik bitkilerde 544 genomik değişim çalışması yapılmış ve gitgide hız kazanmaktadır. Bunun sonucunda 1996 yılından bu yana transgenik bitki tarımı hızla gelişerek Dünya’da 30’dan fazla ülkede kabul görmüştür. ISAAA’nın Ticarileştirilmiş Biyoteknoloji/Transgenik Bitkilerin Küresel Durumu: 2019 raporuna göre 1996 yılından bugüne kadar 2,7 milyar hektar arazide yaklaşık 17 milyon çiftçi tarafından transgenik bitki ekimi yapılmıştır. Bu hızlı değişim yanında bazı kaygılarla birlikte teknolojik

tartışmaların merkezinde yerini almıştır. Ticari bir değer kazanan ve ekonomik payı hızla artan transgenik bitki üretiminin, tarımsal faaliyetlere dâhil edilmesi ve değerlendirilmesi göz ardı edilmemelidir. Dünyadaki tarımsal faaliyetleri birbirinden bağımsız düşünmek ve biyoteknolojik gelişmeleri kulak ardı etmek küresel anlamda tarımsal faaliyetlerin gerisinde kalmak gibi ciddi bir sorun doğurabilir. Bu nedenle birçok gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler halihazırda özel düzenlemeler formüle etmiş olsa da ileriye dönük tarımsal faaliyetlerde transgenik bitki üretim politikaları belirlenmeli ve geliştirilmelidir.

KAYNAKÇA

- Abiri, R., Valdiani, A., Maziah, M., Shaharuddin, N. A., Sahebi, M., Yusof, Z. N. B. ve Talei, D. (2015). A critical review of the concept of transgenic plants: insights into pharmaceutical biotechnology and molecular farming. *Current Issues in Molecular Biology*, 18(1), 21-42.
- Aldemita, R. R. ve Hautea, R. A. (2018). Biotech crop planting resumes high adoption in 2016. *GM crops & food*, 9(1), 1-12.
- Çelik, V. ve Balık, D. T. (2007). Genetiği değiştirilmiş organizmalar (GDO). Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 23(1), 13-23.
- Aldemita, R. R., Reaño, I. M. E., Solis, R. O. ve Hautea, R. A. (2015). Trends in global approvals of biotech crops (1992–2014). *GM crops & food*, 6(3), 150-166.
- Ammann, K. (2008). Integrated farming: why organic farmers should use transgenic crops. *New Biotechnology*, 25(2-3), 101-107.
- Arvas, Y. E. ve Kaya, Y. (2019). Genetiği değiştirilmiş bitkilerin biyolojik çeşitliliğe potansiyel etkileri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 29(1), 168-177.
- Eren, B. (2021). Gen Transfer Teknolojisi ve Yağ asidi Kompozisyonlarına Katkısı-CRISPR/Cas Teknolojisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (22), 300-305.
- Goldstein, D. A., Tinland, B., Gilbertson, L. A., Staub, J. M., Bannon, G. A., Goodman, R. E., ... ve Silvanovich, A. (2005). A REVIEW Human safety and genetically modified plants: a review of antibiotic resistance markers and future transformation selection technologies. *Journal of applied microbiology*, 99, 7-23.
- Herrera-Estrella, L, De, Block, M., Messens, E., Hernalsteens, J. P., Van, Montagu, M. ve Schell, J. (1983). Chimeric genes as dominant selectable markers in plant cells. *The EMBO journal*, 2(6), 987-995.
- Holmberg, N. ve Bülow, L. (1998). Improving stress tolerance in plants by gene transfer. *Trends in plant science*, 3(2), 61-66.

- Bouis, H. E., Chassy, B. M. ve Ochanda, J. O. (2003). 2. Genetically modified food crops and their contribution to human nutrition and food quality. *Trends in Food Science & Technology*, 14(5-8), 191-209.
- ISAAA, (2018). Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2018: Biotech Crops Continue to Address the Challenges of Increased Population and Climate Change. ISAAA Brief No. 54.
- ISAAA, (2019). Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2019. ISAAA Brief No. 55. ISAAA: Ithaca, NY.
- ISAAA, (2020). ISAAA in 2020: Accomplishment Report. <https://www.isaaa.org/resources/publications/annualreport/2020/default.asp>
- ISAAA, (2021). Breaking Barriers with Breeding: A Primer on New Breeding Innovations for Food security. ISAAA Brief No. 56. ISAAA: Ithaca, NY.
- ISAAA, (2021). International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA), <https://www.isaaa.org/blog/entry/default.asp?BlogDate=1/12/2022>, (Erişim tarihi: 26.01.2022)
- ISAAA, (2022a). International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA), <https://www.isaaa.org/gmapprovaldatabase/cropslist/default.asp> (Erişim tarihi: 25.01.2022)
- ISAAA, (2022b). International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA), <https://www.isaaa.org/resources/infographics/gmapprovaldatabase/gm-approval-infographic-01.pdf>. (Erişim tarihi: 27.01.2022)
- James, C. (2014). Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2014. ISAAA Brief No. 49. ISAAA: Ithaca, NY. <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/49/> (Erişim tarihi: 25.01.2022)
- Kaya, Y. (2015). Genetically modified plants and their biosecurity risks. Halal and Tayyip Products Fiqh, Medicine Pharmaceuticals, Cosmetics and Tourisms Workshop. Gimdes, İstanbul.
- Kenward, K. D., Altschuler, M., Hildebrand, D. ve Davies, P. L. (1993). Accumulation of type I fish antifreeze protein in transgenic tobacco is cold-specific. *Plant molecular biology*, 23(2), 377-385.

- Kulaç, İ., Ağirdil, Y. ve Yakın, M. (2006). Sofralarımızdaki Tatlı Dert, Genetiği Değiştirilmiş Organizmalar ve Halk Sağlığına Etkileri. *Türk Biyokimya Dergisi*, 31(3), 151-5.
- Korth K L (2008). *Bitki Biyoteknolojisi ve Genetik* (Nobel Akademik Yayıncılık, 193-216.
- Mariechel, J., Navarro, K., Natividad-Tome, S. M. ve Jenny, P. (2013). Visual representation of science: how cartoonists define crop biotechnology. *International Journal of Current Research*, 5(2), 068-074.
- Lemaux, P. G. (2008). Genetically engineered plants and foods: a scientist's analysis of the issues (Part I). *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59, 771-812.
- Öktem, A. (2004). *Herbisitlere Dayanıklı Transgenik Bitkilerin Yetiştirilmesi: Bitki Biyoteknolojisi II–Doku Kültürü ve Uygulamaları*. Selçuk Üniversitesi Vakfı Yayınları, Konya: ss 238.
- Redenbaugh, K., Hiatt, W., Martineau, B. ve Emlay, D., (1994). Regulatory assessment of the FLAVRSVR tomato, *Trends in Food Science & Technology*, 5(4), 105-110.
- Smith, J. E. (1996). *Biotechnology*. Cambridge University Press, 149-158.
- Sudheer, S., Bai, R. G., Usmani, Z. ve Sharma, M. (2020). Insights on engineered microbes in sustainable agriculture: biotechnological developments and future prospects. *Current Genomics*, 21(5), 321-333.
- Şakiroğlu, M. (2010). Fırsatlar ve korkular arasında GDO'lar. *SETA Analiz Dergisi*, 14, 3-17.
- Tansey, G., Worsley, A. (2014). *The food system*. Routledge.
- Tewary, R. (2020). *Bioengineering and Transgenic Plants-A study*. *Anusandhaan-Vigyaa Shodh Patrika*, 8(1), 01-07.
- Tizard, M., Hallerman, E., Fahrenkrug, S., Newell-McGloughlin, M., Gibson, J., de Loos, F. ve Doran, T. (2016). Strategies to enable the adoption of animal biotechnology to sustainably improve global food safety and security. *Transgenic research*, 25(5), 575-595.

- Tome, K. G. N., Navarro, M. J., Mercado, S. M., Monina, M. ve Villena, C. A. (2017). Seventeen years of media reportage of modern biotechnology in the Philippines. *Philippine Journal of Crop Science*, 42(1), 41-50.
- UNFPA, (2022). United Nations Population Fund (UNFPA), <https://www.unfpa.org/news/world-population-increase-one-billion-2025>, (Erişim tarihi: 25.01.2022).
- Uzogara, S. G. (2000). The Impact of Genetic Modification of Human Foods in the 21st Century, *Biotechnology Advances*, 18, 179-206.
- Zülal, A., 2000. Gen Aktarımlı Bitkilerin Geleceği, *Bilim ve Teknik*, 388, 92-94.



ISBN: 978-625-8405-14-9